Publié dans Apprendre un métier technique aujourd'hui 6, 1-53, 1997
qui doit être utilisé pour toute référence à ce travail

UNIVERSITÉ DE NEUCHÂTEL
Séminaire de psychologie
Espace Louis-Agassiz 1
CH - 2000 Neuchâtel

# LOGIQUE D'EQUIPEMENT, LOGIQUE DE FORMATION:
## nouvelles technologies dans une Ecole Technique

Jean-François Perret

**Document de recherche du projet**
**"Apprendre un métier technique aujourd'hui"**

Construction, communication et appropriation des savoirs professionnels requis pour le développement et la maîtrise de nouveaux outils informatiques

**No 6**

Octobre 1997

PNR33 Efficience de nos systèmes de formation
FNRS no 4033-35846
A-N. Perret-Clermont, R. Bachmann & L-O Pochon

**Table des matières**

## LOGIQUE D'ÉQUIPEMENT, LOGIQUE DE FORMATION: nouvelles technologies dans une Ecole Technique

### INTRODUCTION

Le présent dossier vise à rendre compte de ce que nous avons entendu, observé, appris, et peut-être parfois cru comprendre, au sujet des dispositifs techniques dont l'Ecole Technique de Ste-Croix s'est dotée dans le domaine de la fabrication assistée par ordinateur.

Comme tout visiteur qui découvre la réalité d'une Ecole Technique, nous avons été frappé par la place qu'y occupent les diverses machines et les ordinateurs à disposition des élèves. Certains équipements, telle la cellule d'usinage dite FMS (Flexible Manufacturing System) installée à l'ETSC quelques mois avant le démarrage de notre projet de recherche, requièrent un espace important et de vastes locaux pour y loger les différents éléments qui la composent.

Notre but n'est pas de décrire les caractéristiques techniques de ces équipements (même si nous en donnerons quelques aperçus pour la compréhension générale de notre propos), mais de saisir comment un établissement de formation fait face à la question du renouvellement de ses équipements afin de rester, dans la mesure du possible, technologiquement "à jour" et crédible dans son secteur de formation. De quelle manière un établissement est-il concrètement touché par les développements technologiques qui se déploient actuellement dans de nombreux secteurs d'activités professionnelles? Quelles "perturbations" les mutations en cours produisent-elles dans le fonctionnement habituel d'un établissement? Comment une école à la tradition et à la réputation solidement établies dans le domaine de la mécanique de précision, assimile-t-elle l'arrivée de technologies nouvelles, et comment se les approprie-t-elle tant sur les plans technique que pédagogique?

L'impact effectif de ces mutations sur le fonctionnement d'ensemble d'un établissement de formation initiale est une question à notre connaissance encore peu étudiée. Actuellement, les milieux de la formation se préoccupent d'avantage de formuler des "solutions" en terme de restructuration d'ensemble du système de formation que d'analyser les fonctionnements institutionnels et pédagogiques en vigueur. Dit d'une autre manière, les débats et projets actuels s'attachent plus à profiler la réalité de demain, qu'à éclairer ce qui se passe et s'apprend de fait aujourd'hui.

Les travaux de recherches auxquels nous pouvons nous référer se situent sur plusieurs plans qui vont de la psychologie cognitive à l'étude des contextes socio-économiques liés aux mutations technologiques.

*Des compétences cognitives liées à l'usage d'outils informatiques*

Dans le domaine de la formation initiale, quelques investigations portent ainsi sur des apprentissages spécifiques marqués par l'introduction de nouvelles technologies. Ainsi, Aussenac et al. (1986) étudient les conduites d'étudiants en productique utilisant les machines-outils à commande numérique (MOCN), pour les mettre en relation avec leur niveau de maîtrise du dessin technique. Dans une perspective similaire, Lebahar (1986, 1987) analyse l'impact de l'utilisation de MOCN sur les compétences graphiques de techniciens en formation; une des conclusions à laquelle cet auteur parvient est que "les MOCN engendrent, de par les exigences provoquées par la préparation, la rédaction et l'exécution des programmes d'usinage assortis de leurs contraintes déterministes, un niveau supérieur d'abstraction de l'espace de transformation de l'objet. Elles tendent à provoquer l'axiomatisation et la conceptualisation de ces transformations" (Lebahar 1986, p 375). Ces travaux sont centrés sur l'identification et l'évolution de certaines compétences cognitives liées à l'usage d'outils informatiques pour le dessin, la conception et la fabrication assistées par ordinateur (DAO, CAO, et FAO) et rejoignent dans une certaine mesure les travaux de Greenfield (1993, 1994) sur les bénéfices cognitifs que peuvent susciter les jeux vidéos notamment sur le plan des représentations spatiales; ils n'ont pas pour objectif d'analyser plus largement les effets psycho-sociaux que suscite l'introduction de ces nouveaux outils sur un lieu de formation.

*L'impact des nouvelles technologies sur les lieux de production*

Un domaine probablement plus largement étudié, porte sur les entreprises impliquées dans des transformations technologiques. Dans un document de recherche, Blanc (1994) présente un ensemble de travaux qui s'intéressent aux conséquences de l'introduction de nouvelles technologies (telles en particulier les machines-outils à commande numérique) sur l'activité cognitive et l'organisation du travail des ouvriers (Martin 1991; Martin & Beach, 1992; Martin & Scribner 1991; Wilkinson, 1984; Barcet et al., 1983). L'introduction de nouveaux dispositifs provoque certes des changements dans les savoir-faire et les modes de pensée, mais ces transformations ne dépendent pas seulement des outils et de leurs caractéristiques propres ; il faut aussi tenir compte du type d'utilisation qui en est fait, des buts poursuivis et de la manière dont les tâches que permettent ces outils sont socialement distribuées au sein de l'entreprise, avec les enjeux de pouvoir qui

peuvent s'installer entre ouvriers qualifiés et ingénieurs. Ce qui s'observe en entreprise n'est donc pas tant une simple substitution de modèles d'action et de pensée, mais une restructuration et une redistribution de ceux-ci.

L'introduction de nouvelles technologies sur les lieux de travail a suscité différents types d'actions de reconversion professionnelle notamment des ouvriers directement liés à la production. Dans le domaine de la formation à la robotique, Parmentier et Vivet (1992) se sont par exemple consacrés à l'étude systématique des processus d'apprentissage en jeu en développant une "micro-robotique pédagogique" destinée à la formation d'adultes. "Nos expériences montrent qu'il est possible de faire prendre conscience de la dimension technologique de l'informatique dans ses fonctions industrielles, en construisant des environnements pédagogiques adaptés. Ceux-ci sont essentiellement centrés sur la mise en oeuvre de micro-robots. Leur intérêt est de permettre une démarche technologique globale, basée sur l'aspect pluritechnique de ces objets: informatique, mécanique, électronique, les aspects logiciels de commande étant intégrés au sein d'un même dispositif" ( Vivet, 1992, 261).

Ce type de recherche retient l'attention dans un contexte de formation continue qui par ailleurs ne se révèle pas toujours innovant comme le montre l'étude de Ferrand & al. (1987). Dans leur ouvrage, ces auteurs se demandent si les formations aux nouvelles technologies vont engendrer des démarches de formation en entreprise différentes des formations aux technologies ou aux savoirs classiques; "l'induction en chaîne est en effet tentante: *nouvelles technologies* impliqueraient *nouvelles compétences et capacités de travail* qui impliqueraient *nouveaux types de systèmes cognitifs et d'apprentissage* qui impliqueraient *nouveaux dispositifs et systèmes de formation*" (p. 63). Le résultat de leur enquête, conduite auprès d'une douzaine d'entreprises, tend à relativiser ce type de raisonnement, "les discours actuels et nombreux sur la nouveauté tous azimuts relèvent plus du voeu pieux, ou de l'exorcisme, que de la réalité concrète, et risquent d'être l'écran de fumée qui ne sert qu'à masquer la complexité des problèmes" (p. 63).

*Nouvelles technologies et société*

Au delà du monde de l'entreprise, la question des savoir-faire techniques et de leur évolution est encore liée au contexte socio-économique dans lequel ils se déploient. Ce contexte est celui des transformations de l'activité économique qui peut toucher toute une région, comme c'est le cas de l'Arc jurassien étudié par Crevoisier (1993) et Fragomichelakis (1994).

Dans une perspective psycho-sociale ou de sociologie générale, les nouvelles technologies ont aussi été considérées sous l'angle de leur impact sur la vie et l'imaginaire des personnes et analysées à travers des discours, représentations sociales et attitudes qu'elles suscitent (Scardigli,1992). L'étude de Grize & al. (1987), fait apparaître en particulier une relation étroite, dans les discours d'ouvriers, entre les nouvelles technologies, la formation et la question de l'emploi.

## DÉMARCHE DE RECHERCHE

Notre perspective de recherche a consisté à prendre connaissance des développements technologiques au sein d'un établissement tels qu'ils sont vécus (conçus, initiés, portés, supportés, subits ... ?) par les acteurs de la formation les plus directement concernés. Pour conduire cette investigation, nous avons focalisé notre attention sur un établissement de formation situé dans l'Arc jurassien, l'Ecole Technique de Ste-Croix (ETSC). Tout en sachant que cet établissement a une histoire, un contexte, une organisation, des enseignants, des élèves et des enjeux qui lui sont propres (dont celui en particulier de rester malgré son relatif isolement géographique un lieu de formation attractif dans le champ, actuellement en recomposition, des formations professionnelles) nous ne voulons pas mettre l'accent sur la spécificité de ce site. Au-delà du cas particulier étudié, nous pensons en effet pouvoir identifier des interrogations et proposer quelques repères pour l'action qui concerneront également d'autres lieux de formation professionnelle.

L'investigation de type monographique présentée ici[1], s'appuie sur un ensemble de données recueillies notamment par le biais:
- d'entretiens avec la direction de l'ETSC (directeur et doyens)
- d'entretiens avec les enseignants responsables de l'initiation des apprentis et des techniciens à la fabrication automatisée
- de documents mis à notre disposition par l'Ecole concernant les caractéristiques des machines et l'organisation de l'enseignement théorique et pratique en mécanique.

### A l'écoute des principaux acteurs

Dans ce dossier, nous nous attacherons plus spécialement à rendre compte de ce que nous ont communiqué les enseignants lors de différents entretiens, en essayant de garder toute la richesse de leurs propos. Ces données sont chaque fois présentées dans le texte en italique; il s'agit quelque fois d'un résumé, à partir de notes d'entretien, d'autres fois d'une transcription des propos entendus à partir de leur enregistrement. Notons que dans ce dernier cas, notre transcription ne s'est pas attachée à respecter totalement le style du discours oral, ceci afin de ne pas rendre la lecture de ces extraits inutilement laborieuse. Pour les besoins de l'analyse que nous souhaitions effectuer, la fidélité au contenu des propos comptait plus que le respect minutieux de la forme d'expression.

---

[1] Ce dossier rappelons-le s'inscrit dans le volet monographique de notre projet de recherche, volet qui visait à rassembler ce que nous devions connaître du site en question pour interpréter de manière pertinente les observations réalisées dans quelques situations de formation choisies.

L'ensemble des entretiens réalisés forme un corpus de données qui pourra ultérieurement donner lieu à des analyses complémentaires, soit pour en affiner l'analyse de contenu, soit pour poursuivre l'identification des "théories subjectives" de l'acte d'enseignement que peuvent refléter ces entretiens, ceci dans la perspective des travaux conduits par Schürch (1995 a, 1995b) au laboratoire didactique de l'Institut suisse de pédagogie pour la formation professionnelle (ISPFP) à Lugano.

**Un cadre d'analyse**

Quel cadre conceptuel adopter pour penser une situation de formation autour de machines complexes? La recherche en didactique modélise classiquement le noyau de la situation pédagogique comme une structure ternaire constituée des pôles: Maître, Elèves et Savoirs (Schubauer-Leoni, 1986, 1994). En nous inspirant des travaux de Rabardel (1995) et de son approche cognitive des instruments techniques, une approche quaternaire de la situation de formation paraît cependant devoir être adoptée ici afin de saisir la complexité des rapports qui se trament entre un maître, des élèves, des compétences à acquérir, et des machines à maîtriser.

Accorder une pleine place à ce quatrième pôle paraît indispensable pour saisir les caractéristiques fondamentales d'une formation pratique. Le monde des machines, en tant qu'objets construits, "pétris" de savoir-faire technologiques accumulé au cours des générations, ne peut être assimilé à un environnement physique quelconque, ni à la catégorie des "moyens d'enseignement et d'apprentissage" mis à disposition des élèves (textes, guides, manuels, fiches, exercices, ...) même si une machine dans une école est d'abord un moyen d'apprentissage.

Le rapport que l'élève instaure avec une machine est en effet d'une autre nature que le rapport qu'il entretient avec un outil de formation, tel un manuel. La machine sur laquelle on apprend paraît plus fortement investie symboliquement que tout autre support ou matériel de cours[2]. Cet investissement semble directement lié à la construction de l'identité professionnelle que la pratique en atelier favorise; le fait même de travailler sur une fraiseuse contribue à asseoir un statut de mécanicien (ceci d'autant plus s'il s'agit d'une "vraie" machine industrielle, avec lubrification, et non d'une machine didactique; mais nous reviendrons plus loin sur cette distinction). Etudier un manuel de mécanique ne fournit pas, de toute évidence, le même sentiment de devenir mécanicien.

---

2 Cet apprenti qui a consacré ses heures de loisirs à construire chez lui un modèle réduit d'un tour mécanique pour l'offrir à ses maîtres, témoigne on ne peut mieux de l' investissement dont les machines de l'atelier d'école peuvent être l'objet.

Le rapport que les maîtres entretiennent avec les machines de l'école est également à prendre en compte: ce rapport est toujours personnalisé, chaque machine a une provenance, une histoire, un degré de précision, des possibilités qui répondent ou non aux attentes de ses utilisateurs. De plus, le rapport à une machine qu'un maître a conçue, construite ou développée, comme dans certains cas à Sainte-Croix, est d'une autre nature que celui qui s'instaure avec une machine livrée clé en main.[3]

Pour organiser la présentation de ce que nous avons entendu et appris, nous avons privilégié trois axes correspondants à trois grandes thématiques: l'arrivée et la prise en charge de nouveaux équipements techniques; les compétences professionnelles visées; et les démarches de formation mises en oeuvre. Explicitons ces trois axes:

***a) Arrivée de nouveaux équipements techniques***

Ce premier axe concerne le processus d'équipement tel qu'il est vécu par ceux qui se voient confier la charge d'un renouvellement technologique au sein d'un établissement, depuis la conception d'un projet, jusqu'à l'installation, la mise en oeuvre et l'utilisation pédagogique du nouvel équipement.

On pourrait être tenté de situer cette phase d'équipement en amont de la situation même de formation et l'estimer, par conséquent, sortir du cadre d'une problématique strictement pédagogique. Mais les entretiens que nous avons conduits avec les maîtres de l'ETSC ont fait apparaître combien les différents équipements sont chargés d'histoire au sein d'un établissement. Chaque étape marquante de renouvellement technique est vécue comme une aventure, une épopée dont le succès paraît fortement lié à l'investissement et à la ténacité des maîtres qui en ont la charge.

Nous nous intéresserons ainsi, en quelque sorte, à l'amont des situations de formation parce que nous pensons que l'investissement d'un maître dans le développement d'un nouvel équipement n'est pas une réalité séparable de la situation d'apprentissage qu'il créera, lorsque ce nouvel équipement sera enfin installé et fonctionnel à des fins de formation [4].

---

[3] Une autre annecdocte illustrera ce point: dans l'atelier de mécanique, j'admirais un jour une machine-outil toute neuve qui venait d'être déballée. Je compris vite que mon émerveillement n'était pas partagé par chacun: le maître d'atelier me montra les cabosses subies par la machine au cours de son long transport. Il s'agissait d'un machine de provenance et de fabrication chinoise. Se voir livrer une machine à la précision jugée discutable, cabossée et de plus avec pour tout mode d'emploi et fiches techniques des textes en chinois, ne créait manifestement chez le maître concerné, ni enthousiasme, ni émerveillement. Cette machine m'a été présentée un peu comme une intrue.

[4] Cette interrogation n'est pas sans lien avec celle du rapport que les enseignants de l'enseignement général entretiennent avec les moyens d'enseignement. Le fait que l'enseignant travaille avec des moyens

*b) Compétences professionnelles visées*

L'arrivée de nouvelles technologies de production appelle un réexamen des objectifs d'apprentissage et des compétences que l'on souhaite développer chez les élèves. La fabrication assistée par ordinateur transforme de fait la nature de l'activité technique; celle-ci devient entre autres, comme l'exprime un maître, "plus cérébrale" parce que toutes les opérations et leur enchaînement doivent être anticipées et représentées à l'aide de systèmes de codage.

Dans ce domaine, les milieux de la formation s'interrogent: quels objectifs d'apprentissage faut-il alors viser, quels niveaux de compétence développer chez les apprentis, et chez les techniciens? Comment les préparer au mieux aux mutations technologiques en cours et à celles qu'ils vivront dans leur future activité professionnelle?

Les attentes des milieux industriels sont grandes. Dans un article intitulé "L'usine automatisée a besoin de la main de l'homme", Ebel (1989) souligne une exigence des systèmes de fabrication flexible, exigence qui en fait d'ailleurs aussi une faiblesse: "le genre d'automation flexible qui est au coeur des systèmes PIO (Production Intégrée par Ordinateur) ne peut fonctionner convenablement et de manière continue que s'il est confié à des travailleurs hautement qualifiés et motivés, capables de remédier au pannes relativement fréquentes de ces machines complexes et sophistiquées, et de résoudre les problèmes que posent les logiciels".

La question des compétences à acquérir se trouve fréquemment posée dans les débats actuels sur la formation professionnelle. L'identification des compétences-clés (ou qualifications-clés), ainsi que des compétences dites transversales font l'objet de différentes tentatives sur le plan suisse (voir en annexe No 1 les extraits du rapport de l'USAM sur la réforme des apprentissages, ainsi que d'un document du Centre CIM/CCSO). Diverses instances tant des milieux économiques que des milieux de la formation s'attachent ainsi à caractériser les compétences professionnelles générales qu'exigent les mutations technologiques engagées dans de nombreux secteurs d'activités. Mais comment ces préoccupations et ces discours rencontrent-ils la réalité d'un établissement de formation et ce qui s'y vit quotidiennement? Comment la question des nouvelles compétences attendues se trouve-t-elle posée et vécue par les acteurs de la situation de formation? Quelle perception en ont-ils et comment en parlent-ils?

---

fournis ou des moyens qu'il a lui-même créés ou adaptés est une variable importante qui touche indirectement à la question de la professionnalisation de la fonction enseignante, variable pourtant peu étudiée, pour des raisons qui mériteraient en soi une étude (Perret 1993).

### *c) Démarches de formation*

Nous nous demanderons ici de quelle manière, sur le terrain, la dynamique des changements technologiques vient solliciter les pratiques de formation. Les nouvelles technologies viennent-elles "perturber" les conceptions et pratiques courantes en matière de didactique professionnelle, ou se laissent-elles "mouler" dans des schémas pédagogiques classiques? Dans le champ de la formation continue, Ferrand et al. (1987) constatent que la formation aux nouvelles technologies n'entraîne pas nécessairement de nouvelles pratiques pédagogiques. En va-t-il de même en formation initiale?

Dans une Ecole technique, comment se mettent en place concrètement un nouvel enseignement et des travaux pratiques? Comment trouvent-ils leur place dans les programmes d'enseignement, dans les horaires, dans les examens? Comment se fait la mise en oeuvre pédagogique? Observe-t-on des transformations par rapport aux schémas pédagogiques classiques bien établis? Nous nous intéresserons en particulier à la gestion du temps dans la manière d'alterner théorie et pratique; à l'organisation du travail de groupes; aux relations maître-élèves; ainsi qu'aux attitudes que les uns et les autres adoptent face à la panne, l'imprévu ou l'incertitude.

## Les équipements techniques dont il sera question

Nous nous intéresserons aux équipements que l'ETSC a développés ou acquis pour former ses élèves (ainsi que des adultes en formation continue) à la production automatisée et à la fabrication assistée par ordinateur .

Dans ce secteur d'activité, les innovations se sont déroulées en grandes étapes. Une première étape (déjà relativement ancienne), concerne l'introduction de machines-outils à commande numérique (MOCN). L'ETSC, école pionnière dans ce domaine, a conçu et réalisé des MOCN, dès les années septante, afin d'initier les élèves à leur utilisation. Ce sera le premier volet que nous aborderons pour respecter la chronologie des renouvellements technologiques qui ont marqué la vie de l'établissement. Puis nous nous pencherons sur les équipements plus récemment acquis par l'ETSC, au début des années nonante, équipements destinés à s'intégrer dans un plan d'ensemble selon le concept CIM (Computer Integrated Manufacturing) [5]. Il agit des dispositifs suivants:

---

[5] En arrière fond de cet important projet d'équipement se trouve le programme d' actions, de recherche, de développement et de formation que la Confédération a favorisé dès 1989, à titre de soutien à l'introduction de dispositifs CIM en Suisse.

- une cellule d'usinage didactique FMS (Flexible Manufacturing System)
- une cellule d'assemblage avec robot
- un logiciel de GPAO (Gestion de la Production Assistée par Ordinateur).

Chacune de ces composantes a donné lieu à des démarches d'acquisition quelque peu différentes. C'est la raison pour laquelle nous examinerons successivement ce que les enseignants nous ont communiqué à leur sujet.

Il convient cependant de saisir le fil conducteur qui sous-tend ces renouvellements technologiques. Sur ce plan, un établissement comme l'ETSC tente de suivre l'évolution générale qui caractérise le monde industriel. L'évolution de la fabrication automatisée se caractérise en effet par une série d'étapes et une succession de développements visant chaque fois une plus grande intégration des différentes opérations de production pour favoriser une plus grande efficience et flexibilité du système d'ensemble (ceci souvent dans la perspective de constituer un *atelier flexible*, voire une *entreprise flexible*). L'annexe 2 présente comment les différentes composantes d'un système de production s'articulent entre elles dans le concept d'ensemble CIM (Computer Integrated Manufacturing).

Une synthèse de ce type d'évolution nous est proposée par Stroobants (1993):

> *"Comme son nom l'indique, une machine-outil à commande numérique est commandée par un calculateur. Sa vitesse, ses mouvements, sa conduite sont gouvernés par un automate programmable. Tant que le programme est difficile à manipuler, à remplacer, à modifier, l'économie de temps n'est pas sensible. Cette machine-outil à commande numérique ne résout pas encore l'alternative entre l'effet de série et celui de la diversité. La flexibilité de l'ordinateur reste sous-exploitée.*
>
> *Avec des composants miniaturisés, la programmation est assouplie. Le support du programme est aisément manipulable et les paramètres de fabrication peuvent être directement modifiés. Pour annuler une opération, ajouter une commande, ou changer de mode opératoire, il suffit, en principe, de taper des consignes sur un clavier. La machine-outil à commande numérique directe devient alors un instrument à "géométrie variable", capable d'usiner successivement des pièces de formes différentes, de réaliser une séquence d'opérations compliquées sur une même pièce ou sur des pièces différentes, sans mise au point ni réglage compliqués.*
>
> *Une fois la procédure de fabrication automatisée, la permutation d'un outil représente encore une perte de temps. Ajoutons donc un dispositif de changement d'outil*

*automatique, avec le programme ad hoc: la machine est désormais autonome, capable de remplacer un outil usé ou de substituer un type d'outil à un autre pour faire, par exemple, des contournements différents sur la même pièce. On obtient un **centre d'usinage**. Lorsque le centre d'usinage a accompli un cycle, il s'arrête et attend le chargement de la pièce suivante. Cette intervention peut être assumée par un robot qui décharge le lot de pièces usinées et charge une nouvelle palette de pièces. On obtient cette foi, **une cellule flexible**. Chaque organe - le robot, la machine-outil, le dispositif de changement d'outillage - de cette cellule est commandé par un programme.*

*Plusieurs cellules de ce genre peuvent être mises en ligne, à condition d'être articulées. Le convoyeur automatique assure le transfert des pièces et donc, comme dans une chaîne classique, la liaison entre les différent "postes", en l'occurence la cellule. Ajoutons encore un ordinateur qui assure la coordination et la régulation de l'ensemble et on arrive à la formule de l'**atelier flexible**." (Stroobants, 1993, p. 61-62)*

Notons encore que les équipements dont il sera question dans ce rapport ne recouvrent pas l'ensemble des renouvellements technologiques qui se vivent au sein de l'ETSC. Nous avons privilégié un créneau, celui de la fabrication automatisée (qui constitue probablement l'axe majeur d'innovation au sein de l'ETSC), et ceci de manière encore incomplète puisque nous ne nous sommes penchés que sommairement sur l'apprentissage de la CN et de la CAO (conception assistée par ordinateur). Mais d'autres domaines d'activités sont également touchés par l'introduction de nouvelles technologies, c'est le cas notamment dans la section d'électronique, où des logiciels permettent aujourd'hui de faire dessiner par l'ordinateur des circuits électroniques et d'en simuler le fonctionnement, en vue de les tester avant même toute réalisation concrète. Le secteur de l'informatique est également marqué par l'évolution des systèmes d'exploitation, des langages et des technologies qui sous-tendent en particulier la création de réseaux informatiques. L'enseignement des branches générales est aussi concerné par l'introduction de nouveaux outils informatiques: des didacticiels ont été mis à disposition des étudiants en particulier pour l'apprentissage des langues. Ces diverses innovations ne seront pas prises en compte ici; le présent rapport ne se veut pas une étude exhaustive du processus de renouvellement des outils de formation au sein d'une école.

Nous centrerons donc notre regard sur les dispositifs de fabrication automatisée, au sein de l'ETSC, en analysant successivement quatre volets correspondants à différentes étapes d'équipement.

## VOLET 1: DES MACHINES À COMMANDE NUMÉRIQUE (MOCN) [6]

### Caractéristiques générales

"Les machines-outils à commande numérique (MOCN) se sont imposées dans l'industrie à partir des années soixante. Comme l'indique leur nom, il s'agit bien d'un équipement mixte, composé d'une *machine-outil* - fidèle au genre et à ses fonctions (tournage, perçage, fraisage, etc.) - et d'un *dispositif de commande* - automate qui transmet à la machine les directives d'usinage. Le directeur de commande en question constitue donc un *programme* de fabrication, où sont stockées les informations correspondant aux opérations de conduite et de pilotage de la machine. (...) La numérisation des commandes, puis le développement des micro-processeurs ont ainsi conduit à la mise au point, dans les années soixante-dix, de CNC (commandes numériques avec calculateur) qui permettent d'introduire ou de modifier directement le programme à partir d'un clavier" (Stroobants 1993).

### Comment l'ETSC s'est-elle équipée en machines-outils à commande numérique?

La construction de la première machine MOCN à l'ETSC date de 1975. Deux maîtres de l'Ecole Technique de Sainte-Croix prennent plus particulièrement en charge la réalisation de ce projet; l'un est responsable de la partie mécanique, l'autre de la partie informatique. Cette réalisation est conduite en marge de leurs tâches d'enseignement; les élèves de l'école, par conséquent, n'y sont pas associés. Qu'est-ce qui a présidé au lancement de ce projet, comment s'est-il déroulé? Les éléments recueillis à ce sujet lors des entretiens peuvent se résumer ainsi:

> *La CN existait depuis les années soixante dans les grandes entreprises, mais les ordinateurs nécessaires étaient de grosses machines, trop chères pour une école. Comment alors initier les élèves? Il se trouve qu'en 1970, l'ETSC avait créé pour le Service des Forêts un appareil de mesure du diamètre des arbres avec un enregistreur sur bande perforée. L'existence de cette perforatrice, conjuguée à la volonté d'innovation de la direction de l'Ecole, a favorisé le développement de machines CN. Il s'agissait à l'époque, pour les élèves, de composer des programmes en perforant des bandes.*

---

[6] Les entretiens que nous relaterons et sur lesquels nous nous appuierons ici ont été conduits par Danièle Golay Schilter.

*Le choix d'un équipement didactique pour initier les élèves à la CN s'est imposé à l'époque en raison du coût très élevé des machines industrielles. De plus, l'acquisition de telles machines aurait eu pour inconvénient de devoir en limiter l'accès aux élèves, par crainte d'erreurs de manipulation dommageables.*
*La perforation à la main n'a pas duré longtemps, car la perforation de chaque code était laborieuse et chaque erreur impliquait de tout recommencer. Un lecteur-perforateur de bandes a été introduit et utilisé pendant 4 ou 5 ans. Puis l'école a acquis des cassettes magnétiques et enfin il a été possible de stocker les programmes sur disque dur. Ce développement de la partie informatique a nécessité l'aide d'informaticiens et a conduit à développer une "vraie" CN, travaillant avec des codes ISO. Pour la partie électronique, avant la création de la section électronique au sein de l'ETSC , "on bricolait entre initiés, le soir, pour souder les circuits".*
*Du côté de la partie mécanique, la première machine ne pouvait, au début, que graver des droites dans une matière molle. Puis il a été possible progressivement de graver ou fraiser des obliques et des cercles.*
*Jusqu'en 1984, les machines à CN se composaient entièrement d'éléments construits "maison". Dès 1985, a débuté l'implantation de CN Sinumerik fabriqué par Siemens.*

Pour former ses élèves à l'utilisation des machines à commande numérique, L'ETSC possède ( en 1996) cinq centres d'usinage didactiques, une graveuse et une fraiseuse. Ces machines suscitent chez les enseignants qui nous en parlent quelques commentaires.

A propos des cinq centres d'usinage à commande numérique:
*Les exercices qui accompagnent le cours "Théorie et pratique CNC" se font sur ces machines . Elles permettant d'usiner des matériaux mous et tolèrent des erreurs que les machines de production ne supporteraient pas.* Le responsable du cours dit préférer enseigner sur cinq machines didactiques que sur un gros centre d'usinage industriel, plus coûteux, qui permettrait moins d'erreurs et qui n'est pas fait pour que les élèves se lancent et apprennent. *"Il ne faudrait pas un trop beau truc, une machine trop chère sur laquelle c'est finalement le maître qui fait tout, par peur que les élèves l'abîment. Le but du didactique, c'est qu'ils osent y aller et que la casse éventuelle n'a pas de conséquences graves."*

A propos de la graveuse pilotée par commande Sinumerik:
*"Elle peut enlever de copeaux, fraiser avec un outil de 10 mn. On y usine par exemple des plaques frontales de tableaux de commandes, dans du matériau mince".*

A propos de la fraiseuse sur laquelle la CN Sinumerik a été installée par les soins de l'ETSC:

*"C'est la seule capable de fraiser des pièces de dimensions normales, mais elle n'a pas de chargeur d'outils automatique, ce qu'ont actuellement les machines "modernes".*

On peut tout d'abord relever qu'aucune de ces machines n'a été achetée de toute pièce par l'ETSC. Toutes ont été soit conçues, assemblées, modifiées ou complétées au sein de l'école, avec la collaboration de Swissperfo[7]. Il n'est pas sûr que des développements techniques de cette envergure se réalisent encore ainsi à l'avenir, au sein même de l'établissement. L'acquisition de nouvelles machines semble aujourd'hui passer par des livraisons "clé en main".

*Si les crédits demandés sont acceptés par l'Etat, l'ETSC pourra en 1996 acquérir pour la première fois de nouvelles machines à commande numérique "clé en main". Une demande a en effet été adressée pour que l'école acquière deux centres d'usinage et deux tours CNC. Cet équipement se justifie par le fait qu'il est maintenant possible de passer l'examen pratique du certificat de fin d'apprentissage en partie sur CNC. Or l'école n'offre pas actuellement cette possibilité, "l y a là un manque à combler.*

Notre deuxième remarque concerne la perception même des machines. De nombreux propos s'attachent à distinguer les machines didactiques des machines de production, ainsi que les fonctions différentes qu'elles remplissent dans la formation.

*Le responsable du cours "Théorie et pratique CNC" désigne les machines didactiques et dit: "ici c'est de l'exercice, on travaille avec la résine ETSC. Un mécano travaille quant à lui en blouse et avec lubrification, c'est ce qu'ils font en atelier en fin de 2ème et en 3ème et 4ème années".*

---

[7] Cette entreprise, sous le nom initial de Perfo est née en 1970 à l'initiative de l'ancien directeur et de quelques enseignants de l'ETSC. Spécialisée tout d'abord dans la production de bandes perforées, l'entreprise a pris de l'ampleur et s'est orientée vers la production de machines à commandes numériques. Elle a favorisé, au fil des ans, des liens étroits entre activités de développement industriel et activités de formation. Les ingénieurs de Swissperfo ont notamment assuré le développement et la maintenance des équipements de l'ETSC. Plusieurs maîtres de l'Ecole ont aussi contribué, parfois avec leurs élèves, au développement de prototypes. L'annexe B présente les différents produits conçus et développés par Swissperfo. C'est dans le cadre de cette collaboration que les composantes de la cellule d'usinage ont pu être réalisées tant au niveau des machines que du logiciel.

*Vu de l'atelier, les machines didactiques représentent certes quelque chose de moderne, mais comme l'exprime un maître d'atelier: "malheureusement elles sont didactiques. Cela va pour des démos, mais elles ne sont pas assez rigides pour usiner du métal, si on le fait tout vibre. A l'atelier, il y a une machine rigide, avec une commande numérique moderne, mais il n'y a pas de changeur d'outils et elle ne travaille pas avec 4 axes; elle date".*

## A propos des compétences visées

Les enseignants jugent indispensable que leurs élèves acquièrent des compétences dans le domaine de la commande numérique.

*S'ils sortaient de l'ETSC sans avoir fait de CNC, çà donnerait une mauvaise réputation à l'école. Ce serait aberrant, maintenant il y a partout de la CNC.*

Quels sont les objectifs d'apprentissage visés dans ce domaine?

*En fin de formation, les élèves doivent être à même de programmer et d'exécuter l'usinage de n'importe quelle pièce à l'atelier, à partir d'un dessin et avec le matériel fourni. Ils doivent savoir programmer le code CN, régler les machines et les outils; ils doivent être capables d'anticiper, de se représenter l'usinage afin de ne pas devoir faire cinq essais pour mettre leur programme au point.*

Ce qui est exigé aux examens se résume en trois points: **réaliser** un programme d'usinage à partir du dessin d'une pièce; **dessiner** une pièce à partir d'un programme; **corriger** un programme. Ces objectifs d'apprentissage sont commentés en ces termes:

*Il faut* ***savoir analyser l'usinage****, c'est-à-dire prévoir les opérations dans le bon ordre, avec les bons outils, en fonction des caractéristiques de la pièce. Certains se lancent dans l'activité sans réfléchir. Il importe surtout d'****être méthodique****. On n'a pas besoin de ces petits génies qui se lancent et cassent les machines; les gens qui ont trop confiance en eux, ce sont des gens dangereux. Moi, comme patron, je n'engagerais pas quelqu'un comme çà.* Leur est-il difficile d'être méthodique? *Oui, mais cela s'apprend. En usinage conventionnel, l'ordre des opérations va de soi, mais avec la CN il faut une méthode, parce que c'est plus abstrait. Il faut donner des références, des indications à la machine, des choses qu'on ne fait pas avec les autres machines. Sur les conventionnelles, on voit plus vite ce qui ne va pas.*

Un autre maître caractérise ainsi ce qui est particulier à la CN:

> *Avec le conventionnel, on fait une pièce en cascade, on peut y aller par étapes. Avec la CN, il faut prévoir le tout, de A à Z, c'est plus cérébral. Il faut se mettre au bureau et analyser les phases opératoires. Certains aiment se précipiter sur la machine (conventionnelle) et agir, ils détestent prendre un papier et un crayon. En CN, ceux-là ont de la peine.*
>
> *Les élèves doivent* ***dessiner une pièce selon un programme et vice-versa****. Ils doivent être capables de corriger un programme. C'est typique de ce qui peut arriver dans la pratique professionnelle: il faut voir où il y a un problème (cela peut être une faute de frappe). Les machines de l'école signalent quel est le genre d'erreur. Pour corriger, il faut connaître les codes CN et utiliser les connaissances théoriques et repérer ce qui ne semble pas logique. Par exemple, vérifier l'ordre des mouvements, ou le diamètre de la fraise utilisée par rapport au rayon de la découpe à faire. C'est une question de systématicité C'est là qu'il y a des problèmes, souvent on saute une étape.*
>
> ***Savoir corriger un programme****, c'est toujours utile. Il y a certes actuellement toujours plus de programmation assistée. Mais 80% des pièces se font encore sur des machines comme celles disponibles ici, qui usinent sur deux axes. Les nouvelles machines à quatre axes, sont nécessaires pour usiner des formes complexes, (des moules par exemple) avec des mouvements complexes. (...) Nous on travaille encore en programmation directe (programmation sur le clavier de la CN). On pense à la main. On fait les calculs soi-même, en introduisant chaque indication, alors qu'avec la FAO et les machines à la pointe, on donne des indications de plus en plus générales et les programmes prennent en charge les calculs et autres décisions.* Cette maîtrise de base du codage CNC est toujours jugée utile*: dans dix ans, il y aura encore des machines comme les leurs (celles des élèves). D'ailleurs leurs machines ont déjà quelques fonctions assistées, telle la fonction "pocketing", pour usiner des poches.*

Les apprentis sont-ils suffisamment préparés pour travailler dans l'industrie?

> *Oui, même s'ils tombent sur d'autres machines, ils devraient* ***savoir lire les manuels et se débrouiller****.*

L'élargissement de la formation dispensée en la matière est cependant envisagée:

> *Si la CN représentait 30% des heures de pratique, on ferait aussi du tournage, il faudrait travailler sur des machines avec changeurs d'outils, pour des opérations plus importantes. Certaines de ces choses sont possibles dans le cours "Théorie et Pratique CNC". Mais les machines didactiques ne sont pas utilisables pour l'acier et à l'atelier, ils n'ont qu'une fraiseuse CN.*

Quelles sont les attentes des entreprises à l'égard des élèves sortant qu'elles engagent? Selon le doyen responsable de la section mécanique, l'idéal serait pour elles, que les élèves soient opérationnels tout de suite, qu'ils connaissent précisément les outils utilisés en entreprise. *Elles en demandent trop!*

Est-ce que les élèves de l'ETSC ont cette capacité de rapidement s'y mettre?

> *Oui, ils apprennent vite en entreprise, mais ils quittent vite quand ils réalisent qu'ils sont des presse-bouton. En effet, une entreprise donnera à un apprenti sortant un poste d'opérateur; il entre les données préparées par le technicien, l'agent de méthode, et surveille la machine, ce qui est un métier, mais qui s'avère moins passionnant que prévu. Donc si les élèves sont intéressés au départ, attirés par le prestige de la CN et de l'automation, ils sont vite dégoûtés. A moins que dans une petite entreprise, ils aient la possibilité de devenir programmeur-opérateur. Ce qui est intéressant dans la CN, c'est le travail du technicien d'exploitation qui donne les gammes opératoires, fait le posage, etc.*

**Démarches de formation**

Les apprentis en mécanique rencontrent la CNC d'une part dans les heures de pratique en atelier, ceci jusqu'en 4ème année, et d'autre part dans un cours intitulé "Théorie et Pratique CNC" qui fait partie du groupe des branches dites "théoriques". Ce cours compte 200 périodes (5 périodes hebdomadaires pendant la deuxième année de formation). Le programme prévoit, chaque lundi une heure de théorie et quatre de pratique; en fait, l'enseignant fait des aller-retours fréquents entre présentation théorique et application, *c'est plus efficace pour la compréhension, pour maintenir l'attention et la concentration des apprenants*. Pour les exercices, les différents types d'usinage sont abordés successivement, les élèves commencent par le gravage, *parce qu'il n'y a pas de correction d'outil, c'est le plus simple.*

Comment les élèves vivent-ils le passage de l'usinage conventionnel à la CN?

*L'expérience préalable de l'usinage conventionnel est nécessaire, mais la façon d'aborder l'usinage est différente avec la CN. Au début, ils sont surpris: il n'y a pas de manivelles à tourner. Mais çà leur plaît, ils s'y mettent rapidement. Certains élèves se piquent au jeu, on est bien équipé et puis cela passe pour moderne.*
*Pour les apprentis en mécanique, l'écran c'est compliqué a priori. Je les comprends car j'ai vécu cela. Quand j'ai passé la première fois sur la CN, je m'en faisais tout un monde. Mais c'est très simple!*
*Ceux qui ont de la peine passent peu de temps sur la CN, puisque ce n'est pas demandé dans l'examen de pratique. Ceux qui vont bien, je les laisse sur la machine, je leur donne quelques ruses et ils pataugent, ils pataugent, et c'est comme çà qu'ils apprennent (...) Au début, ils m'appellent pour peser sur le START. Ils ont peur. Mais je leur donne une ruse: diminuer la vitesse pour pouvoir contrôler ce qui se passe. Sur les machines conventionnelles, on fait tel truc et çà bouge, alors qu'en CN, tout est préparé à l'avance, ils ont peur des conséquences. Il faut leur donner confiance, qu'ils aient confiance dans les calculs qu'ils ont faits avant. Mais cette crainte va en diminuant: notre génération avait plus peur qu'eux, eux ils ont des ordinateurs à la maison. Et ici on peut apprivoiser la machine en réduisant la vitesse, c'est simple à faire.*

Les enseignants responsables des heures de pratique ont créé un mode d'emploi pour les machines CNC sous forme d'un guide pour usager débutant, guide complet et détaillé, qui donne pas à pas ce qu'il faut faire et en explique le pourquoi. Leur mode d'emploi donne les principes d'application pour la personne qui sait en théorie comment programmer, mais qui doit apprendre à utiliser les machines. La rédaction de ce guide était nécessaire, parce que *c'est difficile de s'y retrouver dans la documentation énorme du fabriquant.*

Sur le plan de l'organisation générale des heures de pratique en atelier, on peut relever le rôle fortement structurant que remplit la progression méthodique des différents exercices et travaux à effectuer. Les élèves se répartissent les machines. Un classeur d'exercices fixe des progressions dans les tâches. Il y a des rotations, des adaptations suivant l'avance personnelle. Le maître a un tableau de bord qui lui permet de vérifier que chaque élève a effectué toutes les opérations et a passé sur toutes les machines. Mais il les rend responsables d'avoir pu travailler sur les différents tours existants sans se limiter à un seul modèle. Ces exercices progressifs sont parfois interrompus pour effectuer des travaux sur commande.

*A certains moments, il y a les travaux pour les clients. Ce serait tentant de n'y mettre que les meilleurs, mais je fais en sorte que les élèves puissent tous y passer, parce que çà les motive, quitte à devoir les assister davantage. Souvent ces travaux demandent la CNC, car ce sont des pièces plus complexes (tel par exemple un disque de frein flottant pour moto). S'il n'y a pas de commandes, on invente des travaux: je faitsune machine à mesurer pour l'école. Chaque élève en fait une partie. Pour ce qui touche au montage, je fais des sous-groupes, car c'est difficile. S'il y a une "spécialité", quelque chose qui ne se représentera pas et qui est d'intérêt, les élèves sont rassemblés autour de la machine et reçoivent des explications, un bout de théorie. A tout moment à l'atelier on peut voir des élèves réunis autour d'une machine pour une explication au groupe.*

Pour les exercices qui font l'objet d'un évaluation notée, soit quatre par semestre, les élèves reçoivent une feuille avec un dessin et un temps limité. L'enseignant a la même feuille avec la liste des critères d'évaluation. Les maîtres concernés ont décidé depuis quelque temps de systématiser cette procédure, dans le sens de ce que l'élève devra faire lors de l'examen de fin d'études (CFC).

*Il y a les critères mesurables, contrôlables et estimables, ensuite l'élève voit cette feuille et on discute de la note. Ils essaient de mettre un peu la note en question, mais ils prennent généralement bien la chose; ils ont tous conscience du but: réussir le CFC.* C'est leur but premier? *Oui, ils ne voient pas tellement plus loin, on essaie de leur expliquer un peu ....*

**Le travail par groupe** est apprécié différemment par les maîtres selon qu'il concerne le cours "Théorie et pratique CNC" (le travail à deux y est fréquent comme le souligne la première remarque), ou les heures de pratique en atelier (les travaux y sont traditionnellement réalisés individuellement).

*Cours CNC: pour les exercices du cours, les élèves sont répartis de manière à utiliser toutes les machines. En général, ils sont deux par machine. C'est l'idéal, il y a en a un qui dicte le code, l'autre qui le tape. Et c'est bien d'être deux pour vérifier les erreurs.*

*Atelier: le problème du travail en équipe, c'est qu'il y en a un qui travaille et les autres qui regardent. Même à deux, il y en toujours un qui prend les choses en mains. A l'atelier, ils travaillent si possible seuls, donc ils doivent s'impliquer.*

**Synthèse**

Dans le domaine des machines à commande numérique, l'ETSC a été un établissement pionnier en développant, dès les années septante, des équipements ad hoc à des fins de formation. Ce développement technique, requérant un effort de longue haleine, a manifestement été vécu comme une épopée; il a mobilisé les compétences de chacun, notamment dans les domaines de l'électronique et de l'informatique, nouveaux pour l'ETSC: *"pour la partie électronique, on bricolait entre initiés, le soir, pour souder les circuits"*.

Les machines CNC initialement développées à l'ETSC sont de type didactique. Dans les entretiens, il est souvent question de ce qui distingue ces équipements didactiques conçus d'abord pour apprendre et non pour produire (contrairement aux machines industrielles). En cela les machines à commande numérique semblent occuper une position intermédiaire, à l'intersection de différents projets et démarches de formation. D'une part, elles appartiennent au champ de la pratique professionnelle du mécanicien de précision, et trouvent de ce fait place dans l'atelier de mécanique où les apprentis s'exercent à la maîtrise du métier. D'autre part, la CNC fait l'objet d'un enseignement qui combine cours théoriques et travaux pratiques. Alors que l'atelier valorise traditionnellement les machines de production permettant aux élèves-apprentis de s'initier sur de "vrais" outils, en situation quasi réelle de travail, les travaux pratiques ont pour fonction, quant à eux, d'illustrer et de concrétiser le contenu d'un enseignement; ils procèdent d'une perspective de formation plus "scolaire" et nécessitent pour cela des équipements didactiques ad hoc.

Selon le point de vue adopté, ce sont alors tantôt les limites des machines didactiques qui sont soulignées: elles *ne sont pas assez rigides pour usiner du métal, ...,* ou tantôt leur apport à la formation: *elles permettent des erreurs qu'une machine de production ne supporterait pas.*

Concernant les compétences visées, il est intéressant de relever, dans les propos des enseignants, l'importance accordée aux capacités générales d'analyse, d'anticipation, et de représentation de l'usinage *(certains se lancent dans l'activité sans réfléchir!)*. La nécessité d'*être méthodique* est également soulignée *(c'est une question de systématicité, c'est là qu'il y a des problèmes, souvent on saute une étape)*. La capacité de s'adapter à différents équipements industriels est encore évoquée *(s'ils tombent sur d'autres machines, ils devraient savoir lire les manuels et se débrouiller)*. Au delà de l'énoncé des objectifs généraux, il conviendrait en fait de distinguer ici différents niveaux de maîtrise selon qu'il s'agit des compétences du concepteur ou du correcteur d'un programme CN,

ou des compétences d'un utilisateur d'une machine CN. Le rôle de l'anticipation, de la planification, ou de la visualisation n'est pas équivalent dans les deux cas.

## VOLET 2: UNE CELLULE D'USINAGE FMS (flexible manufacturing system)

### Caractéristiques générales [8]

Une cellule FMS est un ensemble de machines, contrôlées numériquement, interconnectées et reliées par un système de transport automatisé. L'ensemble est supervisé par un système informatique à haute capacité d'ordonnancement et d'adaptation qui remplit les fonctions suivantes:

- stockage des données (programme des commandes numériques, données relatives aux outils),
- communication (envoi des programmes, correcteurs d'outils, dialogue avec les terminaux),
- ordonnancement (définition des ordres de fabrication, respect des délais),
- pilotage en temps réel (prise de décisions pour optimiser le fonctionnement de la cellule FMS),
- visualisation graphique de l'installation,
- surveillance (alarmes, erreurs, etc.).

Pour l'instant, la cellule installée à l'ETSC se compose de deux postes d'usinage, de postes de bridage, de palettes de dimensions industrielles, d'un stockeur, d'un contrôleur d'outils et d'un système automatique de transport AGV (Automated Guided Vehicle). L'annexe No 4 présente la configuration d'ensemble de la cellule.

Il s'agit d'un dispositif didactique qui permet aux élèves de s'initier à l'utilisation d'une cellule flexible depuis la conception d'une pièce jusqu'à sa fabrication. Elle est dite didactique parce que son outillage est conçu pour travailler des matériaux légers d'"exercice" (résines synthétiques) et non des métaux. Cette option présente un ensemble d'avantages:

- la *sécurité*: liée à la nature des matériaux travaillés et à la possibilité d'usiner à vitesse réduite,
- *la visibilité*: que permet l'absence d'écrans de protection et de capots normalement exigés sur une machine industrielle; il est ainsi possible d'observer de près ce que fait la machine, ce qui est sensé faciliter la compréhension des opérations en jeu [9].

---

[8] Pour cette description générale du système, nous reprenons des éléments d'un article consacré à l'Ecole Technique de Sainte-Croix, article paru dans le bulletin CIM/Vaud No33, septembre 1994 (cf annexe 3).

[9] Notons que le rôle exact de cette transparence du dispositif mériterait d'être interrogé. Pourquoi ce "voir faire", c'est-à-dire l'observation de la machine à l'oeuvre, est-il jugé si important alors que l'essentiel de la formation réside dans le travail préalable d'anticipation de la mise en oeuvre? Quel est dans l'apprentissage

**Comment l'ETSC s'est-elle dotée d'une cellule d'usinage FMS ?**

Nous relèverons ici deux aspects de la question en soulignant d'une part que cette réalisation est le fruit d'un partenariat avec différentes instances, entreprises et institutions de formation; et d'autre part qu'à l'interne de l'ETSC, sa mise en oeuvre repose sur l'engagement et la compétence des maîtres chargés du dossier.

***Un partenariat***

Pour acquérir un tel équipement, l'ETSC s'est en effet appuyée sur des collaborations avec des entreprises de la région et en particulier avec l'entreprise Swissperfo, associée à l'ETSC et spécialisée dans la conception et la réalisation de machines destinées aussi bien à l'industrie qu'à l'enseignement.

Etant donné l'importance des coûts financiers d'une cellule de fabrication flexible didactique (entre 500'000.- et 900'000.- fr. selon le degré d'intégration visé), coûts qui dépassent les budgets d'équipement ordinaires d'une Ecole technique de la dimension de celle de Ste-Croix, l'ETSC a sollicité et obtenu des crédits importants alloués par la Commission pour l'Encouragement de la Recherche Scientifique (CERS) et par la Confédération ("Offensive pour la formation" de l'OFIAMT) afin d'équiper l'ETSC en modules CIM et mettre sur pied des actions de formation pour des apprentis et techniciens de l'Ecole, et pour des adultes en formation continue.

Le projet s'est ainsi déployé au sein d'un réseau de partenaires: des liens se sont tissés avec l'entreprise Reuge à Ste-Croix, elle-même engagée dans l'automatisation de sa production de mécanismes de base pour les boîtes à musique, ainsi qu'avec l'Ecole Polytechnique Féférale de Lausanne (EPFL) et l'Ecole d'Ingénieurs d'Yverdon. Au cours des ans, certaines collaborations se sont réduites, en raison notamment de l'interruption du projet financé par le programme de la Confédération, et d'autres se sont tissées notamment avec le Centre CIM de Genève.

On peut encore relever que l'équipement de l'ETSC en dispositifs didactiques dans une perspective CIM n'a pas été une opération isolée, en ce sens que d'autres établissements de formation on fait appel à l'expérience développée en la matière à Ste-Croix.

---

le rôle exact des feed-back respectifs de l'action d'usinage et de l'observation du processus d'usinage? Cette préoccupation de visibilité est révélatrice de l'interdépendance étroite qui s'instaure entre le plan des actions concrètes et le plan des représentations de ces actions dans la compréhension et la maîtrise d'un procédé de fabrication.

La vente de machines développées avec Swissperfo a favorisé l'établissement de relations avec plusieurs institutions de formation professionnelle dans d'autres pays (Portugal, Brésil, Malte, etc.). En effet, la vente d'un produit complexe appelle presque inévitablement un suivi dans le domaine notamment de la formation des installateurs et des utilisateurs, voire pour assurer le développement ultérieur des équipements livrés, selon les besoins du client. Des modalités d'échanges ont du être mises sur pied, alliant communication à distance (principalement par télécopie) et contacts interpersonnels directs (stages de techniciens étrangers à l'ETSC). L'ETSC a pu ainsi acquérir une expérience en matière de transfert de compétences technologiques. Bien que non identifiée comme "formation à distance", une part de l'expérience acquise relève, de fait, de ce domaine d'action.

*De l'avis du directeur actuel de l'ETSC, les possibilités que le cadre administratif laisse à l'Ecole pour poursuivre le travail de développement de machines automatisées et de commercialisation réalisé jusqu'ici ne sont pas suffisantes. Par rapport aux investissement passés, le directeur estime que l'ETSC ne fonctionne actuellement qu'en "réactif" et non plus en "proactif", c'est-à-dire qu'elle se limite à répondre aux sollicitations des partenaires et clients actuels, sans chercher de nouveaux contrats. La question se pose très concrètement pour le logiciel Flexcell, développé à Sainte-Croix et qui permet le pilotage du centre FMS. Sa réalisation a demandé d'énormes investissements en heures de travail. Faut-il abandonner ce produit, le reprendre, en poursuivre le développement, le faire connaître, le commercialiser? Pour la Direction de l'ETSC, l'idéal serait de pouvoir retrouver des modalités de collaboration étroite avec une entreprise de la région.*

Au sein de l'ETSC, les enseignants ont conscience d'avoir bénéficié, au début des années nonante, d'opportunités et de conditions particulièrement favorables pour le développement de projets d'équipement d'envergure. De telles conditions ne sont pas perçues comme pouvant être aisément recrées. Comme l'exprime le maître en charge de la cellule FMS:

*Il n'y aura certainement plus, à l'avenir, d'action aussi marquante, où l'école participe au développement d'un tel système de pointe. Par rapport à ce qui se fait dans une entreprise, on est ici actuellement à niveau. C'est possible de rester à flot pour des choses bien cernées, mais pas pour développer de nouveaux systèmes qui coûtent un million de francs.*

Les contraintes budgétaires sont les premières à être mise en avant. Mais on pourrait ici plus largement s'interroger sur les autres facteurs objectifs et subjectifs qui pourraient aussi entrer ici en ligne de compte: perception de l'avenir même de l'ETSC et de ses

possibilités d'établir de nouvelles collaborations avec des entreprises; perception des restructurations en cours dans le domaine de la formation professionnelle ; perception des finances publiques; ou encore de l'évolution économique régionale.

***Un engagement personnel***

L'installation d'une cellule d'usinage didactique a nécessité non seulement des conditions financières et l'établissement de partenariats particuliers, mais également un engagement professionnel soutenu de la part de la direction et des maîtres concernés. Cette tâche et cette responsabilité sont évoquées en ces termes par un maître:

> *La prise en charge est lourde, le professeur responsable doit s'occuper de la maintenance, du développement, du nettoyage, etc.* - Peut-on estimer en temps cet investissement? - *De toute manière les moyens nécessaires ne seront jamais là. On se lance néanmoins dans cette opération coûteuse parce que c'est une chance pour un jeune maître de se faire une place et un nom dans un contexte professionnel incertain.*

Un autre aspect de l'engagement professionnel que représente la prise en charge d'un dispostif complexe est celui de la diversité des compétences à mobiliser.

> *La polyvalence du professeur responsable est indispensable dans un petit établissement. Je m'occupe d'usinage traditionnel, d'automation, de FAO, d'électricité et de câblage. Si j'étais à l'Ecole Polytechnique, je pourrais me spécialiser et ne travailler que sur un seul dispositif. Ce n'est pas possible à l'ETSC. Poursuivre sa propre formation permanente est essentiel; je m'inscris à de nombreux cours, pour être à jour. Quand sa place est en jeu, c'est indispensable d'investir.*

**A propos des compétences visées**

Une cellule d'usinage didactique au sein de l'Ecole Technique est un outil de formation susceptible d'être utilisé de différentes manières selon les objectifs d'apprentissage poursuivis ou selon le type de compétences professionnelles visées. Quels savoirs et savoir-faire, et quels niveaux de compétences l'ETSC vise-t-elle? La question est particulièrement importante pour la formation des techniciens.

***Types de compétences***

Les techniciens en formation doivent-ils apprendre à utiliser une cellule d'usinage, à en comprendre le fonctionnement général, à la réparer, à l'adapter, ou encore à la développer? Quelles compétences viser dans ce domaine de la fabrication automatisée?

> *Il y a plusieurs aspects: les techniciens peuvent être amenés à utiliser un système comme celui-là, mais qui, forcément, ne sera pas exactement de même type. Donc ils doivent avoir utilisé et compris un système; cela les aidera beaucoup à en utiliser et comprendre un autre.*
> *Certains d'entre eux vont développer de tels systèmes, je pense aux informaticiens, ils vont développer des systèmes de pilotage automatique, d'une machine, d'un atelier; on ne sait pas vraiment; ce qui est sûr c'est qu'ils auront des tâches de développement. Pour ceux-là, c'est une mine d'or de comprendre comment on a pu organiser les données, les relier entre elles; que l'on peut prendre une base de données SQL et l'interroger; que plusieurs PC travaillent en même temps et qu'ils communiquent entre eux. Connaître toute cette organisation-là, c'est vraiment précieux.*
> *Ensuite, il y en aura, et c'est peut-être le plus grand nombre, qui seront techniciens et qui vont recevoir un système automatique dans leur entreprise, système qui aura été conçu par quelqu'un d'autre. Ils seront alors responsables qu'il marche. Et çà c'est un aspect très important: ils vont devoir garantir le bon fonctionnement du système, en assurer la maintenance. Ils seront des testeurs, et là c'est tout un métier. Il faut leur apprendre toutes les astuces, tout ce qui peut se passer, leur apprendre comment faire un test systématique. Il importe qu'un système soit bavard, qu'il écrive tout ce qu'il fait, pour pouvoir retrouver une erreur, il lui faut une boîte noire (le"log book"). Là dessus j'insiste beaucoup, je donne des exemples, ils font des dépouillements de log book (...), ils doivent chercher et se dire: "là, il y a une erreur de l'opérateur" ou "là il y a un truc inexpliqué", ou bien encore (...).*
> *Ils peuvent ainsi être utilisateur, développeur ou encore testeur. Dans ces trois perspectives là, la formation donnée sur la cellule leur est utile. Mais ils peuvent aussi être décideurs; dans une entreprise, est-ce que çà vaut ou non la peine d'aller vers une plus grande intégration? Par exemple, quatre machines CN sont en fonction, cela vaut-il la peine de les relier? Ils auront une idée du coût que cela représente, de ce que cela peut impliquer au niveau mécanique et au niveau informatique, ils auront les éléments pour décider.*

***Des compétences transférables***

Dans la manière de caractériser les compétences que les techniciens devraient acquérir, la question du transfert des connaissances acquises, c'est-à-dire la capacité d'utiliser ces connaissances face à d'autres machines dans différents contextes d'activité professionnelle, est un thème important qui revient à plusieurs reprises dans les échanges .

Les élèves retrouveront ils dans l'industrie le même type de machines?

> *Cela n'est pas si important. Si on apprend les principes de base de ces dispositifs, on peut facilement s'adapter sur un autre matériel. C'est vrai, rien n'est standardisé, mais ce ne sont que des variantes.*

Auront-ils à utiliser le logiciel de Fabrication Assistée par Ordinateur "APS"?

> *C'est une connaissance de base qui est facilement transportable à l'extérieur de l'ETSC, les élèves ont beaucoup de chances de retrouver ailleurs ce logiciel. C'est une base, de la même façon qu'une secrétaire doit savoir le traitement de texte; un technicien doit connaître la FAO. Ils vont retrouver APS ou si ce n'est pas le cas, ils peuvent retrouver un système de FAO très proche.*

Et le logiciel Flexcell (développé à Sainte-Croix)?

> *Les élèves ne vont pas retrouver ce logiciel tel quel ailleurs. Aucun système de gestion d'atelier ne se transplante tel quel, parce qu'en fait c'est chaque fois un cas particulier. C'est comme une organisation d'entreprise, vous ne trouverez jamais exactement deux fois la même. Pour ce qui concerne le pilotage d'un atelier, il y aura certains concepts qui vont se retrouver, mais çà ne sera jamais pareil.*
>
> *Les principes généraux, la base de données, la gestion des outils, vont se retrouver dans tous les programmes, mais la présentation des écrans, les touches à appuyer, tout cela sera différent. C'est normal, vous ne pouvez jamais avoir, pour enseigner, le système que tout le monde emploie. C'est comme quand vous apprenez à conduire une voiture: pour la premièrevoiture vous mettez vingt heures et pour la deuxième une demie-heure. C'est un peu pareil pour la FAO, ils mettent 30 heures pour comprendre ce système, et s'ils doivent changer de système, ils mettront peut-être 10 heures.*

***Un bagage de base nécessaire?***

La question des compétences dans le champ de la formation ne concerne pas seulement les objectifs de formation visés et la possibilité de les transférer dans de nouvelles

situations. En amont, elle concerne également les savoirs et savoir-faire de base indispensables (pré-requis) pour pouvoir réellement bénéficier et tirer parti d'une formation. Qu'en est-il de ces compétences préalables nécessaires à la compréhension et à la maîtrise d'une cellule FMS?

*Il leur faut une culture minimum de l'informatique, qu'ils aient touché un PC sous Windows, des choses comme çà parce qu'on s'en sert, c'est une culture qu'ils doivent avoir acquis, on ne sait pas trop où...-* Au sein de l'école? - *Oui, pour les techniciens en informatique, remarquez que les autres, ils travaillent aussi sur PC avec Windows, mais il n'y a pas un cours spécial, c'est dans leur pratique qu'ils apprennent çà. De l'usinage, on espère aussi qu'ils en aient une culture minimum; le fraisage, le tournage* [10]*; je ne vais pas leur apprendre à calculer des vitesses de coupe! Cela concerne un petit peu la CNC, mais cela devrait même être appris avant. A la limite ici, je ne m'occupe pas tellement de savoir si les vitesses de coupe sont correctes d'un point de vue industriel; on travaille dans des matériaux qui tolèrent pas mal d'erreurs, parce que ce n'est pas l'objet de mon enseignement. S'il fallait tenir compte de cela, en plus des problèmes qu'ils ont de FAO; si on cassait des outils chaque fois qu'un élève met un mauvais paramètre, on arriverait plus à enseigner l'ensemble.*

Le rôle de l'expérience antérieure concernant l'usinage conventionnel n'est pas pour autant minimisé:

*Il est important pour les techniciens d'avoir touché la matière, pour ne pas raconter n'importe quoi, sur la faisabilité, les pièces, les matériaux, leur résistance.*

En fonction de leur parcours antérieurs, tous les techniciens n'ont pas le même bagage et en particulier pas la même expérience des machines à commande numérique:

*Ce qui se passe alors, c'est que l'on alterne une semaine sur deux le cours CNC, avec le cours FMS. On a fait comme cela l'année passée, ils apprenaient ainsi la CNC en même temps qu'on commençait en FMS; et puis, au moment où on avait vraiment besoin de la CNC, ils l'avaient déjà acquise. C'est un problème avec les techniciens: ils ont des formations différentes, avec des trous à des endroits différents et on ne sait pas ce qu'ils ont fait avant, et en fin de parcours, il faut avoir comblé les trous et monté le niveau de tous.*

---

[10] La formation antérieure des élèves techniciens est très diversifiée, les uns ont un CFC de mécaniciens et ont acquis ainsi une solide connaissance de l'usinage traditionnel, mais d'autres sont électroniciens, voire informaticiens.

Est-ce que çà aurait un sens de créer une option, une certaine spécialisation CIM, est-ce que cela aurait un sens dans la situation industrielle actuelle?

*Je n'y crois pas trop, en Suisse, dans notre région. On serait à côté de chez Peugeot, il y aurait une grosse demande en gens formés sur FMS et CIM; on se rapprocherait d'eux, on prendrait leur matériel, on vérifierait que les connaissances données soient transposables chez eux, cela vaudrait la peine. Mais ici il n'y a pas une très grande demande. Il y a peu d'entreprises qui se lancent là-dedans, sauf l'aspect FAO, et la CNC bien sûr. En FAO, les gens s'équipent: d'abord ils achètent une CNC et ils introduisent ensuite la FAO. De ce point de vue, les 90 heures de CFAO sur les 120 sont bien investies parce que nos techniciens ont des chances de retrouver exactement cela. Les 30 heures suivantes sur la cellule FMS, c'est la cerise sur le gâteau qui leur permet, si une fois ils trouvent .... ou bien dans l'avenir, il est possible que çà leur soit utile pour mettre deux ou trois machines ensemble, concevoir un système plus petit que celui-ci, mais étudié avec les mêmes concepts. Mais je crois qu'il n'y a pas de demande précise et importante actuellement. A la limite en automation il y en aurait un peu plus. On a des gens qui trouvent du travail parce qu'ils ont une bonne connaissance de base en programmation d'automates, et cela, c'est demandé.*

**Démarches de formation**

L'acquisition d'un équipement de pointe n'entraîne pas automatiquement une utilisation pédagogique d'emblée optimale. Dans la mise en oeuvre d'un projet de formation, la dimension humaine paraît déterminante. Comme le souligne un enseignant, un facteur clé réside dans la motivation des maîtres qui se voient confier la responsabilité de faire fonctionner une cellule et de concevoir un plan de formation.

*Lorsque les professeurs ne sont pas motivés, le nouveau dispositif est non utilisé, ou éventuellement deux ou trois heures par année pour en montrer une utilisation très restreinte. Il n'y a pas de cours obligatoire à donner sur ces machines. Si on ne les utilise pas, cela ne gène personne. Le dispositif reste mort. Il sert de vitrine pour l'école et de démonstrations occasionnelles pour des visiteurs.*

Comment concevoir une formation autour d'une cellule d'usinage qui constitue un système ramifié, complexe et aux nombreuses composantes?

*Le problème de la formation dans ce domaine, c'est en premier lieu de monter une structure d'un cours, parce que celle-ci n'existe pas toute faite. Le programme et le matériel d'enseignement sont à construire. Dans toutes les autres matières, vous*

*avez des structures de cours, même en automation (...). Vous avez des choses qui existent, le formateur a lui-même suivi des cours dans le domaine, il y a aussi des examens, des textes de référence. Alors que sur un nouveau système comme celui-ci, il n'y a rien. Alors il faut s'organiser et penser son enseignement: que faut-il enseigner? Dans quel ordre le faire?*

Comment cette tâche de structuration d'un enseignement se présente-t-elle selon les domaines de connaissances concernés?

*Dans la FMS il y a deux grandes parties, il y a la FAO, c'est-à-dire le dessin de la pièce et la conception de l'usinage sur un logiciel qu'on appelle APS. C'est une base qui est relativement bien définie. Le fabriquant m'a fourni des exemples de pièces, et c'est plus facile de faire des épreuves écrites, parce que je leur donne une pièce à réaliser avec des contraintes d'usinage, de matière, d'outils, etc. et là ils le font sur l'ordinateur, c'est un résultat qui est mesurable, çà rentre assez bien dans l'enseignement d'une école, c'est assez facile à faire rentrer.*

*Il y a l'autre partie, Flexcell, c'est le morceau le plus difficile à donner. Parce que c'est un produit vraiment particulier à notre école, il n'ont aucune chance de le retrouver tel quel dans une entreprise; par contre il faut essayer d'extraire à partir de Flexcell les concepts, les choses qui leur seront utiles et en faire des sous-groupes qu'on peut enseigner.*

Le contenu du cours comprend notamment un chapitre consacré aux différents systèmes de transport des pièces dans une cellule et à leur comparaison, avec la possibilité d'étudier concrètement sur place un système AGV (Automated Guided Vehicle) soit un véhicule auto-guidé qui effectue le transport des pièces entre les différents postes de travail ou de stockage.

*Il faut savoir les limites d'un AGV, le temps dont il a besoin, car il fait peu de choses à la fois, il n'a pas des bras dans tout l'atelier, alors que la chaîne de transfert travaille dans tous les endroits à la fois. On travaille ici avec l'AGV, on examine les solutions techniques utilisées, les problèmes rencontrés; il s'agit de les ouvrir à ce qui se fait dans le monde industriel, de leur donner une idée de ce qui existe.*

Lorsqu'un nouvel enseignement est introduit, une question très concrète qui se pose est de lui trouver, ou plutôt de lui créer l'espace nécessaire dans le plan d'études. Autrement dit, comment faire entrer une nouvelle matière dans le programme de l'école? Comme les

horaires de formation sont déjà très chargés, des aménagements sont à rechercher, de nouvelles répartitions à trouver. La solution adoptée dans le cas présent est la suivante:

*On a une matière ici qui s'appelle CNC-FMS (3h hebdomadaire au cours de la première année de formation des techniciens) çà fait 120h. Il y en a 60 pour la CN, c'est un peu la base, et 60 pour la FMS, dont 30 centrées sur APS. Il n'y en a que 30 qui sont vraiment centrées sur la cellule.* - Ces 120 heures, dans l'ensemble de la formation représentent une part assez réduite? - *Oui, environ 8% de l'ensemble du programme, c'est normal, il y a les matières théoriques, les matières techniques générales: électricité, automation, etc., et tout ce qui occupe la moitié du temps des techniciens, et qui concerne leur métier exact: la construction pour les constructeurs, l'exploitation et l'informatique pour les autres. C'est quelque chose ici qui leur est commun. C'est un "plus", une signature "nouvelles technologies", qui les aidera à comprendre des systèmes complexes.*
*Le poids donné est assez juste. Si on donnait deux fois plus de temps pour Flexcell on pourrait de toutes façons le remplir. On a eu des stagiaires brésiliens ici qui ont travaillé trois mois à plein temps dessus, parce qu'ils voulaient devenir utilisateurs du système, ils voulaient connaître toutes les astuces. Mais ce n'est pas à cela qu'on forme les techniciens de l'Ecole, on ne forme pas des spécialistes Flexcell. C'est pas la matière qui manque, mais il faut savoir se limiter. Il faut se dire: maintenant on veut qu'ils aient les idées claires sur ce système, qu'ils comprennent les concepts de base, et il y a quelques aspects que l'on approfondit un peu plus.*

Comment le cours se déroule-t-il?

*Quand je leur présente le cours, pour moi c'est un patchwork de différents aspects qui sont reliés ensemble par le système lui-même. Je commence par leur faire une démonstration en ordre du système. C'est-à-dire qu'on va passer deux heures à fabriquer des pièces, on va voir les composants évoluer, tourner et là çà va éveiller un peu leur intérêt, ils vont se dire : "Tiens, çà marche!" La première fois qu'ils voient marcher çà, ils sont un peu éberlués. On dessine une pièce ensemble à l'écran, on dit: "qu'est-ce qu'on va faire?" et peu de temps après les pièces se font, on en fait autant qu'on veut, etc. La motivation, je la donne un peu à travers cet étonnement. Alors après on se demande: "comment çà marche?" et on va prendre les éléments les uns après les autres. Ensuite, il y a une première phase qui est l'étude des données dans la FMS, qui va se passer d'abord de manière très simple à partir d'un module qui s'appelle "image" et qui va voir les données. Donc là, ils doivent retrouver les données: les correcteurs d'outils, ce qu'ont subi les palettes, etc., mais à partir d'un logiciel qui est fait pour çà, donc ils sont déjà un peu*

*utilisateurs. Et la fois d'après, on descend plus bas avec l'accès direct par SQL (le langage de la base de données) donc là on prend un PC et puis on va taper pour que la base de données nous renvoie la liste des palettes, la liste des outils, des tables, etc. et là, il va falloir apprendre SQL . C'est un langage où on écrit des requêtes, des espèces de standards et on peut interroger la base de données. Et c'est comme çà que Flexcell fait, toutsles modules de Flexcell font comme çà. Mais un utilisateur de Flexcell n'a pas besoin en fait de SQL. Nous on veut qu'ils le connaissent parce ils en auront peut-être besoin une fois pour programmer, pour retoucher une requête ou pour comprendre ce qui se passe. (...) Les exercices avec SQL consistent à aller consulter la base de données, mais pour cela, ils doivent en comprendre la structure. (...) Dans ce domaine, on consacre 20% du temps à l'utilisation et 80% à étudier comment çà se passe.*

Dans la compréhension du fonctionnement de la cellule, l'accent est mis sur le processus de prise de décisions.

*Comment un ordinateur, qui est bête comme ses pieds puisqu'il ne fait que ce qu'on lui demande, peut-il prendre des décisions intelligentes, ou en tout cas sensées et même rapides et efficaces? Saisir ses principes de prise de décision, c'est une partie très intéressante du cours. Comment réagir quand on reçoit tout d'un coup l'information qu'une pièce vient d'être bridée au poste de bridage, qu'est-ce qu'on en fait? Faut-il la laisser sur une machine? Pourquoi sur celle-là? Doit-elle être stockée un attendant que la machine soit prête? Il y a plein de cas possibles... Comment l' ordinateur, avec les milliers d'informations que comprend sa base de données prend-il des décisions?*

Dans le cadre des Travaux Pratiques, ces objectifs de compréhension et les objectifs de maîtrise peuvent se révéler toutefois difficiles à articuler et source possible de tension:

*L'option prise de privilégier la compréhension plutôt que l'utilisation du dispositif, se retourne contre nous lors des travaux pratiques en fin de formation. On demande alors aux élèves de faire un produit, d'être utilisateur, pour leur rafraîchir les idées. Mais comme ils ont passé peu de temps à être utilisateur, ils s'achoppent à de nombreux problèmes. Ce sont en quelque sorte de bon garagistes qui ne savent pas bien conduire! Les élèves le vivent mal: deux ans après une faible utilisation, réutiliser le système, c'est très difficile pour eux. Il y a beaucoup de choses astreignantes pour eux, à utiliser un système pour lequel ils ont été peu formés. Ils se plantent tout le temps.*

*Pendant les travaux pratiques, je suis continuellement sollicité pour donner un coup de main. Mais c'est aussi le but, c'est important qu'ils soient confrontés à une situation réelle, à un objectif précis à atteindre. Pour y arriver ils vont se heurter à des difficultés, parce qu'ils ne connaissent plus très bien le chemin, ils sont dans la forêt et ne connaissent plus le chemin; ils sont plantés, ils appellent et on les aiguille. Je procède ainsi plutôt que de proposer tout un chemin fléché, car dans ce cas, ils n'auront rien appris.*

Cependant, le maître se demande si la manière de concevoir ces travaux pratiques, avec toutes les difficultés que les élèves rencontrent, ne comporte pas des effets négatifs quant à l'intérêt qu'il porte à la fabrication automatisée sur FMS.

*Au début ils sont très attirés par FMS, ils aiment APS et voient qu'on fait rapidement des pièces, mais à la fin, quand ils reprennent tout çà, c'est la jungle. Même si le fait de devoir tout faire eux-mêmes est une chose positive, çà peut leur laisser une mauvaise impression.*

Le fait que ces travaux pratiques n'interviennent qu'en fin de deuxième année de formation, alors que le cours théorique a été donné en première année, est un élément probablement important à prendre en compte. Le maître se demande si ces TP ne devraient pas être introduits plus tôt. L'organisation actuelle a été pensée *pour que cela soit frais dans leur tête en sortant de l'école.* Si les TP sont intégrés dans le programme de première année, *ils auront beaucoup oublié à la fin de la deuxième et ils ne devraient pas oublier çà en sortant.*

Cette question n'est pas sans lien avec celle plus générale de la motivation des élèves, motivation souvent perçue comme faible. Les enseignants tentent d'y pallier en procédant à de fréquentes évaluations. Ce risque d'engagement insuffisant des apprenants ne semble pas se présenter dans le cadre de la formation continue.

*Quand j'enseigne dans le cadre des cours du soir, c'est complètement différent: pas de note, pas besoin d'évaluer, les gens sont comme des éponges qui veulent tout absorber, alors que l'élève moyen, voire le mauvais élève, il faut lui faire entrer les choses; le moyen habituel de pression, ce sont les notes pour l'obliger à acquérir, parce que sinon... Et on le voit très bien ici, si je fais trois travaux écrits et qu'il me reste une ou deux séances où j'illustre des choses, et bien l'absentéisme augmente énormément et les gens n'écoutent plus. Une moitié est très motivée et l'autre...*

Notons que ces mêmes élèves, dits peu motivés, peuvent par ailleurs se montrer engagés avec ténacité voire avec passion dans des tâches de longue haleine, en particulier lors de la réalisation de leurs travaux personnels de diplôme. Par conséquent, les propos tenus sur les élèves par les formateurs doivent être contextualisés, même s'ils se présentent sous la forme d'affirmations générales, et peut-être tout particulièrement dans ce cas-là.

**Synthèse**

L'acquisition d'une cellule FMS a certes été rendue possible par les conditions particulièrement favorables de collaboration et de financement qui se sont présentées à la fin des années quatre-vingt, et ceci dans la mouvance des projets CIM impulsés par la Confédération. Mais l'acquisition de cet équipement de pointe s'inscrit de fait pleinement dans la continuité du développement des dispositifs didactiques que l'ETSC a engagé dès les années septante, comme nous venons de le voir précédemment, dans le domaine des machines-outils à commande numérique.

La mise en oeuvre d'une cellule d'usinage FMS à des fins de formation nécessite, tout particulièrement de la part du maître responsable, un investissement très soutenu, tant sur les plans technique (mise au point et maintenance du système) que pédagogique (conception du contenu du cours et organisation des Travaux Pratiques).

Les objectifs d'apprentissage visés ne se laissent pas aisément définir en raison notamment de la pluralité des profils professionnels vers lesquels cette formation peut conduire (utilisateur, développeur, ou encore testeur de sytèmes). Mais d'une manière générale, la formation actuellement donnée met plus l'accent sur la compréhension des composantes et du fonctionnement d'une cellule FMS que sur la maîtrise asssurée du dispositif. Cette orientation générale de la formation a deux conséquences: une première, comme le relève l'enseignant, réside dans la tension que vivent les étudiants par le fait de se trouver, lors des travaux pratiques, en position d'"utilisateur" sans avoir réellement été entraînés systématiquement à maîtriser ce type de tâche. Une deuxième conséquence a trait à la perception de l'activité par les étudiants ainsi que de leurs propres compétences *(quand ils reprennent tout çà, c'est la jungle, ... çà peut leur laisser une mauvaise impression)*. Le fait de concevoir la formation donnée autour de la cellule FMS dans une perspective professionnelle transversale, c'est-à-dire comme une introduction à la fabrication assistée par ordinateur destinée à l'ensemble des techniciens, quelque soit leur option professionnelle, a pour conséquence indirecte de marginaliser cet enseignement qui n'est alors pas perçu comme appartenant au noyau spécifique de chaque formation, c'est-à-dire pour reprendre les termes du maître, *à leur métier exact* (exploitant, constructeur, informaticien).

L'introduction d'un nouvel enseignement aux objectifs d'apprentissage transversaux et qui s'adresse à des étudiants aux orientations professionnelles diverses, soulève également des problèmes d'organisation liées très concrètement à l'aménagement des programmes et des horaires. Former à la fabrication assistée par ordinateur sur une cellule FMS peut être reconnu comme un objectif important au niveau de la politique de formation d'un établissement, reste cependant à trouver concrètement l'espace qui convient à ce nouvel enseignement. Une école technique, probablement peut-être encore plus que tout autre établissement de formation, se voit confronté à la nécessité d'opérer des choix, des redistributions et des mises à jour périodiques dans ses programmes d'enseignement, ceci en fonction de l'évolution technologique.

La question du transfert des connaissances acquises revient à plusieurs reprises dans les propos des enseignants; elle traduit la préoccupation de privilégier dans la formation les savoirs et savoir-faire que les étudiants seront appelés à mobiliser ultérieurement en situation professionnelle. Cette question du transfert est complexe et nécessite de prendre en compte la spécificité des objets de savoirs. Tel logiciel est susceptible d'être retrouvé dans un contexte industriel, alors que ce ne sera pas le cas pour tel autre. Dans chaque cas, une réflexion spécifique s'impose sur ce qui sera ou non transférable.

Un dernier point que nous relèverons ici concerne la diversité des formations antérieures des étudiants. Certains aménagements sont effectués dans le déroulement de l'enseignement de l'automation, lorsque par exemple des étudiants ne connaissent pas au départ les machines à commande numérique. D'une manière générale, plus qu'en terme de connaissances précises à combler, le maître compte sur une certaine culture en informatique que les étudiants devraient acquérir. Pour nous, la manière dont la diversité des niveaux de départ est gérée dans la formation des techniciens reste encore, pour une large part, une inconnue. Les interactions sociales au sein de petits groupes de travail, interactions fréquentes et souvent vives telles que celles que nous avons observées entre étudiants aux parcours de formation et aux expériences antérieures différentes, jouent certainement un rôle important dans l'acquisition de cette culture technique de base, attendue par l'enseignant. Mais d'autres observations seraient encore à effectuer pour vérifier si c'est bien ainsi que les élèves comblent leurs éventuelles lacunes.

## VOLET 3: UNE CELLULE D'ASSEMBLAGE AVEC ROBOT

### Caractéristiques principales

La cellule d'assemblage installée à l'ETSC est composée d'une chaîne de transports des palettes (chaîne de transfert) et d'un robot. Des développements ultérieurs intégreront à cette cellule d'autres machines (visseuses, riveteuses, ...).
Cette cellule livrée par une entreprise spécialisée est quant à elle de facture industrielle, en ce sens qu'elle n'a pas été pensée à des fins de formation. En cela, son insertion dans l'ETSC présente des caractéristiques et une histoire différentes de celle de la cellule d'usinage présentée plus haut.

### De la commande à l'installation

Les données sur lesquelles nous nous appuierons ici pour décrire l'arrivée de la cellule d'assemblage à l'ETSC ont été recueillies à deux moments distincts. Nous nous référerons tout d'abord aux entretiens que nous avons eus, fin 1993 (temps 1), avec les doyens et les maîtres concernés par le projet, ainsi qu'à une rencontre de coordination entre la direction de l'ETSC et le fabriquant sur le point de livrer la cellule d'assemblage.

A la suite de cette livraison, tout début 1994, dans l'attente notamment de crédits et de matériels complémentaires indispensables, plusieurs mois se sont écoulés laissant la cellule en veilleuse. C'est en mars 1996 (temps 2), que nous avons repris contact avec l'enseignant qui s'était vu entre temps confier la mise en oeuvre du dispositif et l'organisation d'un enseignement ad hoc.

#### *Avant la livraison de la cellule*

Le contrat passé avec l'entreprise spécialisée à laquelle l'ETSC s'est adressé pour ce développement technologique peut se résumer ainsi:
- un système de transport de palettes sur rails, formant un grand carré, avec aiguillages (coût 180'000.-).
- un robot (300'000.-) qui est "offert" à l'ETSC par l'entreprise. En contrepartie, l'ETSC s'engage à recevoir les visiteurs-clients de l'entreprise fournisseuse, ainsi qu' à mettre à disposition la cellule pour des jours de formation organisés par l'entreprise à l'intention de ses clients. Les développements et compléments ultérieurs seront examinés en temps voulu et aucun plan précis n'est encore élaboré.

Pour se former au fonctionnement de cette cellule et à l'utilisation de son robot, le responsable du projet, doyen à l'ETSC, s'attend tout d'abord à recevoir une documentation volumineuse. Aucun cours, nous dit-il, ne sera demandé au fabriquant; de tels cours, sur quelques jours, sont jugés trop coûteux et d'efficacité discutable. Un temps de tâtonnement et de familiarisation progressive avec le dispositif paraît la meilleure stratégie. Comme le responsable du projet l'exprime: *il est très différent de se former en quelques semaines de tâtonnement ou en deux jours d'explications reçues. La première démarche, expérience faite, est préférable.*

Au sein de l'ETSC, qui se verra concrètement confier ce dossier? Pour le doyen à qui nous avons adressé cette question, trouver la personne à la fois compétente et disponible n'est pas une mince affaire. Faut-il engager une personne externe (solution difficile dans la situation financière actuelle de l'Ecole) ou aménager le cahier des charges d'un maître en place?

Le maître pressenti pour cette tâche est certes intéressé par le dossier "cellule d'assemblage", mais il craint d'être trop chargé (il pourrait consacrer quelques heures, mais ne pourrait pas passer des semaines, voire des mois à ajuster et à faire fonctionner le dispositif). De plus, il trouve difficile de gérer avec les élèves une formation efficace autour d'une grosse machine qui a ses contraintes et ses rigidités:

> *Sur ce type de dispositif, on ne peut multiplier les postes de travail pour permettre à chacun de faire quelque chose. Pendant que quelques élèves sont sur la machine, il faut s'occuper des autres ailleurs. Ce n'est pas évident de prévoir un travail autonome sur un matériel qui, de plus, n'est pas sans danger. Les dispositifs CIM sont importants pour l'école et sa réputation d'école "à jour", mais il n'est pas facile autour d'eux, de concevoir une organisation efficace de la formation. (...) Autour d'une cellule, il faut organiser le groupe-classe en petits groupes (...) Le risque de panne est grand, cela provoque du flottement, voire du chahut.*

Les supports de cours peuvent être en partie constitués par la documentation remise par les fabricants à leurs clients; les exercices que comprend cette documentation sont en particulier susceptibles d'être exploités comme matériel didactique.

> *Par exemple, lors d'un cours sur les automates, j'ai obtenu du matériel d'enseignement que j'ai pu utiliser avec mes élèves, cela m'a permis de monter un cours en dix jours. Si le fournisseur de la cellule avait quelque chose de semblable, cela aurait représenté un grand gain de temps.*

Ce que le maître intéressé par le projet souhaiterait pouvoir négocier, lors de la réunion prévue avec le fabriquant de la cellule, c'est que ce dernier livre un dispositif qui fonctionne et puisse au minimum assembler une pièce quelconque, même très simple. Il compare ce type de dispositif à une forêt et attend des concepteurs qu'ils lui indiquent un chemin pour traverser la forêt et parvenir à un but (l'assemblage d'une pièce). A partir de là, il se sent prêt à explorer par lui-même les autres chemins possibles et les variantes. Mais sans l'assurance qu'il existe une traversée possible, il ne se lance pas dans l'opération, *"l'investissement serait trop considérable"*, nous dit-il.

Lors de la rencontre à laquelle nous avons participé entre la direction de l'ETSC et les responsables de la fabrication de la cellule, il est ressorti que les logiques d'équipement des uns et de formation des autres ne se rencontraient pas nécessairement d'emblée. On ne pense pas de la même manière une machine pour apprendre et une machine pour produire. Les fabriquants de systèmes automatisés conçoivent et mettent au point pour leurs clients industriels des machines capables d'effectuer l'assemblage de produits bien définis, ce qui nécessite de configurer avec précision le dispositif pour un usage spécifique. Dans une perspective de formation, l'attente n'est pas la même: le maître souhaite une machine capable de réaliser divers assemblages d'objets même quelconques, tel l'assemblage de pièces de légo, ceci au gré des besoins de formation et de démonstration. Dans cette perspective, ce n'est pas le produit à assembler qui compte mais l'opportunité de comprendre le processus en jeu dans une cellule d'assemblage.[11]

C'est surtout à propos de l'équipement du dispostif en logiciels que la disparité des visées didactiques et industrielles s'est fait le plus sentir. A la veille de la livraison de la cellule, aucune configuration précise en matière de logiciel n'était proposée par le fabricant qui attendait encore des spécifications de la part de l'ETSC, spécifications difficiles à fournir en raison même du caractère ouvert et flexible de ce projet d'équipement. Des incertitudes ont ainsi subsisté quant aux équipements complémentaires encore nécessaires pour faire fonctionner la cellule, la laissant, longtemps, inopérante.

La question de la sécurité à assurer autour du robot (*les mouvements rapides de son bras peuvent assommer un boeuf!*) a également mis en évidence que le matériel conçu pour

[11] C'est ce qu'on cherché à faire, par exemple, Parmentier et Vivet (1992) qui ont développé une robotique pédagogique à l'aide de microrobots outils didactiques réalisés avec du matériel Fischertechnick (version sophistiquée des briques Légo). Ils décrivent ainsi les dispositifs élaborés: "Les robots dit pédagogiques sont généralement pilotés à l'aide de micro-ordinateurs domestiques, grâce à un langage de programmation généralement simple et pédagogique (ce qui explique l'usage fréquent de LOGO) et par un système d'interface approprié. Les concepts classiques de guidage et de contrôle, de degré de liberté, de coordonnée, d'apprentissage de trajectoire par points, d'initialisation du mouvement sont utilisés. Il faut toutefois y adjoindre certaine notions propres comme celle de transparence permettant de présenter à l'apprenant, avec plus ou moins de détails, le rôle des différents composants" (p. 76).

l'industrie ne s'implante pas dans une Ecole sans penser aux dangers spécifiques que peuvent encourir des apprenants non expérimentés.

***Installation et prise en charge de la cellule***

Nous faisons ici un saut de quelque deux années dans l'histoire de l'installation de la cellule d'assemblage à l'ETSC, pour entendre le maître qui s'est vu confier le dossier.

> *Le directeur m'a demandé au début de l'année si j'étais d'accord de reprendre cette cellule. Parce qu'elle croulait sous la poussière. J'ai regardé ce qu'il en était, il nous manquait du logiciel, des interfaces et un tas de choses. Ce qui fait que la cellule ne fonctionnait pas. Je ne parle même pas de la cellule dans son ensemble, mais simplement du robot. Maintenant çà commence à tourner, j'ai passeé un temps considérable pendant 11 mois pour la faire tourner, 11 mois à chercher des solutions.*
> *Le dispositif comprend trois automates différents et qui ont des langages qui sont également différents. Vous voyez que l'on a pas cherché la simplicité! Comme je ne disposais d'aucun schéma, d'aucune documentation précise à part un manuel sur des généralités, il a fallu systématiquement faire des tests pour vérifier que telle entrée arrivait à tel endroit.*
> *Quant au robot, la commande date d'une dizaine d'années, autrement dit il est complètement dépassé actuellement. Mais enfin on fait avec, c'est un langage très spécial qui tourne sur un vieux système d'exploitation. Alors, pour les techniciens en informatique, c'est un peu rébarbatif, mais ils ne se mettent pas encore dans la tête que s'ils vont dans l'industrie, ils seront bien obligés de s'adapter au matériel qu'ils y trouveront.*
> *Il y a actuellement un équipement de base qui permet des applications didactiques mais qui peuvent sans autre être transposées industriellement. Pour l'instant on travail avec des blocs en plastique. Il est prévu d'une part de faire le montage d'une pièce en Lego, un assemblage fait par le robot puis transféré par le système de palettisation. Et puis j'ai le projet de monter un mécanisme de boîte à musique dans sa boîte, c'est-à-dire d'assembler le mouvement dans sa boîte. Il faudra pour cela encore adapter le matériel, faire en particulier des pinces. On en est au tout début. C'est là qu'on pourra travailler en groupe, faire participer des techniciens en construction pour construire les pinces qui seront elles réalisées à l'atelier. Mais il ne faut pas exagérer, c'est l'enseignement que je vise, il ne s'agit pas d'avoir une magnifique structure que l'on va faire tourner pour épater la galerie, çà ne servirait à rien."*

**Démarches de formation**

Pour les enseignants concernés, les problèmes de formation ne sont pas les mêmes sur la cellule d'usinage que sur la cellule d'assemblage; la logique informatique pour la commande d'un robot n'est pas la même que pour la commande des outils d'usinage. Ils ne voient par conséquent que peu de transferts possibles à partir de l'expérience acquise par les élèves sur la cellule d'usinage. Ils pensent devoir élaborer des objectifs et une démarche de formation ad hoc.

> *Le but est de les familiariser avec la programmation du robot, la synchronisation du robot avec la cellule et puis ensuite il y aura un troisième point qui concerne l'aiguillage des différentes pallettes en fonction de leur contenu.*

Pour cette première expérience d'enseignement, 20 heures de cours ont été mises au programme annuel. Le maître qui en a la charge a préparé tout un support de cours relatif aux multiples composantes techniques qui interviennent dans le fonctionnement de la cellule, ainsi qu'un ensemble d'exercices. Les temps d'applications pratiques, suivis par quelques élèves, sont pour l'instant inclus dans ces 20 heures. A l'avenir, le maître pense qu'ils pourraient être intégrés dans les "heures de pratique" semestrielles, des travaux de diplômes pourraient également être envisagés.

> *Il a été prévu, dans une première phase, de donner un cours théorique pour les techniciens de 2ème année et puis, d'autre part, de proposer des stages pratiques à quelques étudiants qui travailleraient à son développement. Alors, j'ai fait un cours, dont la partie théorique a été donnée* (le maître nous montre et commente son matériel de cours, soit un classeur de fiches explicatives sur les différents composants et langages du système, matériel préparé à l'intention des étudiants). *On a pris la classe des techniciens de 2ème année (18 étudiants) qui a été divisée en deux parce qu'ils sont trop nombreux. Puis maintenant il y en a quelques-uns qui vont sur la station de programmation pour faire des tests et se familiariser avec ce logiciel.*

**Synthèse**

La cellule d'assemblage a fait l'objet d'une commande auprès d'une entreprise spécialisée en robotique. De ce point de vue, on aurait pu penser que cette démarche d'équipement allait alléger la tâche des maîtres responsables de l'utilisation pédagogique de cette cellule, en comparaison des investissements nécessités par les projets d'équipement qui avaient

antérieurement été entièrement développés au sein même de l'ETSC. Or apparemment il n'en est rien: se faire livrer un équipement ne signifie pas forcément se simplifier la vie, au contraire! Il y a à cela une explication possible: la volonté de l'ETSC de disposer d'une cellule d'assemblage "ouverte", c'est-à-dire susceptible d'usages et d'adaptations diverses à des fins de formation, a conduit en fait le fabricant à livrer un dispositif de fait inachevé, laissant à l'ETSC le soin d'apporter les compléments nécessaires à la mise en oeuvre souhaitée. Celle-ci s'est révélée complexe et a manifestement exigé un investissement important.

La mise sur pied d'un enseignement autour de cette cellule, encore en voie de mise en oeuvre, laisse entrevoir une certaine tension entre d'une part la préoccupation de pouvoir donner un cours bien structuré pour présenter avec quelque assurance aux étudiants les connaissances nécessaires à la compréhension et à la maîtrise du dispositif, et d'autre part le souhait d'associer les étudiants à des travaux de développement, de mise au point ou de test avec toutes les difficultés imprévues et les heures de tâtonnement et de recherche patiente de solutions que cela implique. Ce temps de recherche collaborative entre maître et étudiants est à notre sens un temps important de formation où les étudiants ont l'opportunité de voir pleinement à l'oeuvre leur maître dans l'exercice de sa compétence professionnelle, compétence à résoudre des problèmes imprévus, à faire des hypothèses, à inventer des solutions. Or ce temps semble vécu, aussi bien par le maître que par les étudiants, comme un temps provisoire ou de transition, en attendant que l'utilisation de la cellule soit pleinement maîtrisée et rodée. De ce fait les stages pratiques sur la cellule gardent pour l'instant un statut mal établi et n'intéressent que peu d'étudiants.

A cela s'ajoute le fait que la commande du robot date d'une dizaine d'années, ce qui suscite de la part de l'enseignant le commentaire suivant: "*... c'est un langage très spécial qui tourne sur un vieux système d'exploitation. Alors, pour les techniciens en informatique, c'est un peu rébarbatif ...*" Cette remarque pourrait d'ailleurs nous conduire à interroger le vieillissement des "nouvelles technologies" et ce que peut signifier cette appellation pour de jeunes techniciens.

Notons encore que pour les enseignants, une cellule d'usinage ou d'assemblage marque sur le plan pédagogique une rupture avec l'organisation des heures de pratique en atelier où chacun dispose traditionnellement d'un poste de travail individuel. Comme l'exprime l'un d'eux: "*les dispositifs CIM sont importants pour l'école et sa réputation d'école à jour, mais il n'est pas facile autour d'eux, de concevoir une organisation efficace de la formation ...*". L'organisation et la répartition des tâches, ainsi que les modalités de collaboration entre étudiants, se révèlent devoir être repensés pour tirer parti au mieux d'un nouvel environnement technique, à des fins de formation.

## VOLET 4: UN LOGICIEL POUR LA GESTION DE LA PRODUCTION ASSISTÉE PAR ORDINATEUR (GPAO)

Ce quatrième volet n'a pas fait l'objet d'observations et d'entretiens comme cela a été le cas pour les volets précédents, ceci en raison des priorités que nous nous sommes données et aussi des contraintes de temps auxquelles nous avons été confrontés dans la conduite de notre investigation. Les quelques informations recueillies, même partielles, nous ont paru toutefois utiles à communiquer ici.

### Caractéristiques générales

"Les systèmes de gestion de production assistée par ordinateur (GPAO) sont tout d'abord des bases de données, où chaque entreprise décrit ses produits et ses moyens de fabrication. Plus particulièrement sont mémorisées les relations entre produits s'exprimant en terme de composé/composants. (...) L'objectif d'un système de GPAO sera de programmer le nombre et les dates de production de chacun des composants de fabrication, cohérentes avec des hypothèses commerciales, mais aussi avec les relations de composition qui existent entre produits. Il tiendra compte des délais de production nécessaires à chaque pièce, des détails d'approvisionnement propres à chaque fournisseur, et enfin des stocks disponibles à chaque étape de planification.
De plus, dès que l'un ou l'autre de ces éléments sera modifié, il recalculera à la demande, un nouveau plan d'action, en signalant les retards ou les incohérences qui pourraient en résulter. Ainsi, il déduira d'un plan de fabrication, les charges de travail qui en découlent pour chaque machine, sur l'horizon de temps considéré, détectant par là-même, les sur-capacités ou les goulots d'étranglements qui doivent être résorbés.
Les systèmes de GPAO réalisent donc l'automatisation d'une chaîne complexe d'opérations, autrefois extrêmement longues et contraignantes à étudier" (Hatchuel & Molet 1992, 143-144).

### *Choix et acquisition d'un logiciel*

Il est intéressant d'examiner avec quels critères s'est fait le choix du logiciel de GPAO sur lequel travaillent actuellement les techniciens en option "exploitation". Nous prêterons attention à la place des critères proprement didactiques liés aux contraintes de la formation. Nous nous référerons pour cela au rapport préparé par le maître responsable du dossier (Dugon, 1993).

Le cahier des charges du logiciel GPAO souhaité pour l'ETSC énumérait une dizaine de critères qui portaient sur :

- des caractéristiques strictement techniques (par exemple: fonctionner sur des PC 80486 et MS-DOS),
- des qualités générales (souplesse, puissance, conception récente),
- des conditions institutionnelles (être produit en Suisse),
- des conditions d'utilisation adaptées à l'ETSC et au travail avec un groupe d'élèves (multi-utilisateurs, multi-entreprises, intégrable au matériel CFAO de l'ETSC),
- des conditions pédagogiques (être simple à utiliser, offrir des faciltés d'enseignement).

L'ETSC n'a pas cherché un logiciel didactique, mais s'est penché sur une dizaine de logiciels "professionnels" proposé sur le marché. Un logiciel s'est révélé le plus adapté, notamment par sa simplicité et son étroite correspondance avec le travail effectué jusqu'ici manuellement par les techniciens de l'ETSC. L'existence d'un matériel d'enseignement disponible (transparents, livre, démo sur disquette) a également joué un rôle non négligeable dans la prise de décision d'achat.

La facilité d'utilisation et la rapidité de la mise en route sont des critères importants pour le choix d'un logiciel. Comme l'exprime l'auteur du rapport: *notre objectif est de former des utilisateurs de la GPAO et non des utilisateurs d'un logiciel spécifique. Nous avons fait une mauvaise expérience avec un logiciel très performant de CAO/FAO, que nous n'avons jamais pu utiliser pour l'enseignement à cause de sa complexité.*

### *Compétences visées*

Dans le même rapport (Dugon, 1993), l'enseignant responsable formule les objectifs d'apprentissage que le technicien ET en option "exploitation" devra maîtriser en ces termes:

- connaître les bases de la gestion de production,
- savoir mettre en place une organisation de la production de type contemporain,
- savoir évaluer un système de GPAO,
- savoir installer et mettre en fonction un système de GPAO,
- savoir utiliser un système de GPAO et former le personnel.

## Commentaires

L'examen du dossier à partir duquel la Direction de l'ETSC a pris une décision d'équipement montre en particulier combien les aspects techniques et pédagogiques pris en compte pour guider la décision d'achat se trouvent de fait imbriqués. Nous n'avons pas recueilli d'éléments sur la mise en oeuvre et l'utilisation pédagogique du système de GPAO dont s'est doté l'ETSC, mais les échanges informels que nous avons eus avec les maîtres concernés nous permettent de penser qu'aucune difficulté majeure n'a été rencontrée dans ce secteur d'enseignement.

## CONCLUSIONS

Dans ce dossier, nous nous sommes plus particulièrement intéressé aux dispositifs techniques que l'ETSC a acquis au fil des ans dans le domaine de la fabrication automatisée. Dans un premier temps, ce sont quelques éléments historiques relatifs à l'introduction des machines à commande numérique à l'ETSC qui ont retenu notre attention. Puis notre regard s'est porté sur des équipements acquis récemment en vue d'une automatisation toujours plus intégrée des démarches de production. Il a ainsi été question d'une cellule d'usinage FMS, d'une cellule d'assemblage, et d'un logiciel de GPAO, tous constitutifs d'un dispositif de production CIM.

A propos de ces différentes étapes d'équipement en "nouvelles technologies", nous avons recueilli les propos des responsables de formation et des maîtres les plus directement engagés dans le développement et la mise en oeuvre de ces nouveaux outils. Nous nous sommes également appuyés sur quelques documents internes à l'Ecole.

Nous avons analysé l'ensemble de ces données selon trois entrées: l'arrivée de nouveaux équipements techniques; les compétences professionnelles visées; et les démarches de formation adoptées. Nous reprendrons ici, en conclusion, les éléments principaux qui sont ressortis de l'analyse et nous dégagerons les questions nouvelles qu'ils suscitent.

### L'arrivée de nouveaux équipements techniques: un engagement personnel est déterminant.

Comme nous l'avons vu, les enjeux entourant l'arrivée et de la mise en oeuvre de nouvelles machines dans un établissement de formation sont multiples, aussi bien techniques, financiers, institutionnels, personnels que pédagogiques.

Nous retiendrons et soulignerons ici l'importance de l'engagement des personnes qui ont pris en charge, à un moment donné, la réalisation d'un projet d'équipement. Les conditions de réalisation ont certes varié d'un projet à l'autre, mais chaque fois, un fort engagement personnel s'est révélé déterminant. Le développement et la maintenance d'un système complexe, telle une cellule FMS, demande en effet un effort soutenu qui s'avère une condition indispensable à la viabilité des projets; sans lui, les technologies les plus nouvelles peuvent être condamnées au sous-emploi et au vieillissement précoce.

Ce premier constat soulève un ensemble de questions liées au statut des travaux de développement technique dans le cadre d'une école.

Qui dans un établissement de formation technique est prêt à fournir cet effort particulier? Qui en a les compétences? Est-ce le type d'investissement que l'on ne peut vraiment faire qu'une fois dans sa carrière d'enseignant (Huberman, 1989)? Quels gains l'enseignant impliqué dans une telle tâche en retire-t-il en termes de considération, d'intérêt professionnel, de formation continue, de promotion? Ces interrogations invitent à prêter attention aux parcours professionnels très diversifiés des enseignants d'une Ecole technique. La gestion des ressources humaines n'est probablement pas moins importante en milieu de formation qu'en milieu d'entreprise.

L'engagement personnel que requiert la prise en charge et la mise en oeuvre d'un nouveau dispositif, engagement vécu souvent comme une surcharge, est-il lié à la logique même de tout développement technologique qui exigerait par nature une mobilisation hors du commun, ou cet engagement pourrait-il être mieux géré par un calcul et une anticipation plus réalistes des travaux engagés[12]? La livraison d'équipement "clé en main" semble se présenter comme une solution humainement moins coûteuse, mais comme nous l'avons vu, elle ne change pas nécessairement radicalement les données du problème; il reste toujours une lourde tâche d'installation, d'ajustement et d'appropriation d'un dispositif.

Au sein d'une Ecole technique, les travaux de développement technologique sont-ils inclus, et de quelle manière, dans le cahier des charges des maîtres? Ces travaux paraissent constituer une tâche supplémentaire située en amont de celle d'enseignement, pour assurer d'abord une mise à jour des équipements dont l'école a besoin et non comme opportunité d'enrichir, dès la phase de développement, l'environnement d'apprentissage propre à un établissement. Nos observations nous laissent penser que les travaux de développement influencent aussi bien le rapport que le maître entretient avec sa discipline d'enseignement, que la relation pédagogique qu'il instaure avec ses élèves si ceux-ci y sont associés. Pour les élèves, en effet, le fait de pouvoir interagir, et peut-être même collaborer, avec quelqu'un qui montre non seulement sa capacité d'enseigner, mais encore sa capacité professionnelle à réaliser et à développer un projet, constitue un apport pédagogique fondamental. De ce point de vue, nous voyons tout l'intérêt qu'il y aurait à penser plus étroitement l'articulation entre les activités d'enseignement et de développement technologique. A l'ETSC, la pratique occasionnelle d'associer, lorsque

---

[12] Il serait intéressant d'examiner de quelle manière les méthodes "d'anticipation participative" développées et mises en oeuvre au sein d'entreprises industrielles confrontées à la gestion d'importantes transformations pourraient être adaptées et transposée au développement de projets de formation. Voir à ce sujet les contributions en particulier de Blatti (1992), dans le cadre du Centre CIM de Suisse Occidentale (CCSO).

les circonstances le permettent, quelques étudiants volontaires à la réalisation de projets d'école donne à ce type d'activités un statut relativement marginal; cette pratique gagnerait certainement à être considérée de manière plus systématique.

### Les compétences visées: des compétences-en-situation

Interrogés sur les compétences qu'ils jugent centrales, les maîtres énumèrent un ensemble de savoirs et savoir-faire dont ils connaissent par expérience la pertinence et la valeur. Il est ici intéressant de relever qu'au cours des entretiens, les énoncés généraux, tels qu'on pourrait les trouver formulés dans un plan d'études, sont spontanément exemplifiés, concrétisés ou encore contextualisés, comme s'il s'agissait par là de leur donner sens et d'expliciter ce dont on parle. Ainsi, par exemple, sur une machine CNC, un enseignant commence par énoncer un objectif général: *"Ils doivent être capables de corriger un programme..."* . Pour enchaîner aussitôt avec la précision suivante: " *... c'est typique de ce qui peut arriver dans la pratique professionnelle: il faut voir où il y a un problème, cela peut être une faute de frappe"*. Leur langage opère ici tout "naturellement" l'équivalent de la démarche d'opérationalisation sur laquelle repose la pédagogie par objectifs. On peut aussi voir, dans cette recherche d'exemplification et de concrétisation, une confirmation empirique qu'"une compétence ne peut être que compétence-en-situation" (Le Boterf, 1994).

L'incertitude sur le cadre d'activité futur des élèves par rapport à leur éventuel engagement professionnel sur une cellule d'un type ou d'un autre), conduit toutefois les enseignants à mettre l'accent sur la compréhension des principes généraux qui président au fonctionnement d'un dispositif, de manière à les préparer ainsi au mieux à la diversité des cas de figure et des activités qu'ils pourront rencontrer. Mais cette visée soulève alors indirectement la délicate question du transfert possible des connaissances acquises d'un contexte à un autre.

Tout le monde peut certes tomber d'accord sur l'affirmation générale qu'une école doit transmettre des connaissances transférables d'un contexte à un autre, mais lorsque la question est examinée cas par cas, pour chacune des connaissances enseignées, il est chaque fois nécessaire d'identifier ce qui pourra être ou non transférer. Ainsi, dans sa future pratique professionnelle, quels logiciels l'élève est-il susceptible de rencontrer, quels autres ne le seront vraisemblablement jamais? Quels aspects ou caractéristiques des dispostifs et des tâches sur lesquels il aura travaillé à l'ETSC, aura-t-il l'occasion de retrouver à l'avenir? Dans chaque cas, la question du transfert peut conduire à des considérations spécifiques utiles. Ce type d'examen mériterait d'être poursuivi et systématisé, différents travaux théoriques peuvent y contribuer (Toupin, 1995; Meirieu,

1996). L'enjeu nous paraît ici l'articulation d'un discours qui porte sur les compétences générales et transférables avec les interrogations qui naissent en cours même d'action de formation sur la transférabilité des différents savoirs et savoir-faire abordés. Les étudiants auraient d'ailleurs tout intérêt à être associé à ce travail de réflexion méthodique sur ce que l'on transfert réellement d'une situation de formation à une situation d'activité professionnelle. En effet, comme nous l'avons vu par ailleurs (Golay, 1997), ils sont prompts à émettre des jugements hâtifs sur la pertinence de telle ou telle nouvelle technologie qu'ils estiment désuète ou inadéquate par rapport à leur propre perception du monde industriel et de leur propre activité professionnelle à venir.

## Les démarches de formation: vers une réflexion collective

*Pour la mise en oeuvre d'un nouvel enseignement : des procédures à réexaminer*

Lorsqu'un nouvel équipement est introduit, comment se met en place une formation? Le maître en charge d'une cellule d'usinage (ou d'assemblage) nouvellement installée se voit confier la tâche d'organiser son enseignement (cours et travaux pratiques). Cette tâche semble aller de soi comme une tâche individuelle prise en main selon des schémas apparemment bien établis que nous pouvons caractériser ainsi: la construction d'un cours repose en premier lieu sur un travail analytique; les différentes composantes du système technique à enseigner constituent autant de chapitres et sous-chapitres du cours; chaque unité du cours donne ensuite lieu à la création d'exercices. Des travaux pratiques sont encore conçus pour favoriser une mobilisation plus intégrée des connaissances acquises dans le cours. Pour se lancer dans cette élaboration, le maître examine au préalable si la documentation du fabricant ou d'autres sources documentaires (fiches techniques, schémas, exercices, cours existants, etc.) sont susceptibles d'être adaptés et exploités pour cet enseignement.

Cette procédure semble suffisamment familière et bien connue des enseignants pour en quelque sorte aller de soi. Pourtant on peut se demander si ces démarches traditionnelles de construction de cours sont encore adaptées face aux nouveaux enjeux de formation, notamment face au projet d'initier les étudiants au fonctionnement d'une cellule complexe qui requiert en particulier un travail d'équipe avec des divisions de rôles pour gérer des tâches multiples. En effet, ces démarches conduisent inévitablement à consacrer davantage de temps à une présentation *additive* de connaissances, plutôt qu'à la mise en oeuvre *intégrée* des connaissances acquises. La conception des travaux pratiques, la manière de les articuler avec le cours dans une perspective d'alternance théorie-pratique, devraient être reconsidérés afin de les adapter de façon beaucoup plus précise aux objectifs d'apprentissages poursuivis. Ces adaptations, pour le moment, chaque maître

les recherche et les expérimente individuellement, mais il y aurait probablement là une tâche pour un travail collectif. certes, les projets d'équipement et développement technologique, du moins dans leur phase initiale, mobilisent la plupart du temps la Direction de l'Ecole et des enseignants réunis en commissions ou groupes de travail. Pourquoi n'en irait-il pas de même pour la mise en oeuvre du volet pédagogique liée aux projets? L'innovation pédagogique n'est certainement pas, par essence, une affaire plus individuelle que ne l'est le développement technologique. Nous relèverons ici deux questions pédagogiques qui mériteraient à notre sens d'être travaillées au niveau d'un établissement.

*Quelle place accorder aux machines didactiques?*

La première interrogation concerne la distinction souvent évoquée entre les machines didactiques et celles industrielles, autrement dit, entre les machines d'abord conçues pour apprendre et celles d'abord conçues pour produire. Rappelons en quelques mots ce dont il s'agit: les machines sur lesquelles les apprentis en mécanique de précision se forme en atelier sont traditionnellement de type industriel; on y apprend à maîtriser de "vrais" outils (tour, fraiseuses, graveuses, etc.), même si certains d'entre eux ne sont pas de facture récente. Le concept de machine didactique a été introduit avec le développement de l'automation, de manière à pouvoir initier les apprenants à la fabrication automatisée. La gamme de machines didactiques introduites à l'ETSC correspond de fait à un certain déplacement des objectifs d'apprentissage. Le but premier n'est plus d'exercer et de parfaire la maîtrise professionnelle d'une machine-outil, mais de comprendre le fonctionnement et l'utilisation d'un système de fabrication automatisée (de la machine CNC au système d'ensemble de type CIM). Pour comprendre le fonctionnement d'un usinage automatisé, et s'initier à son utilisation, la machine-outil n'a pas besoin de la robustesse et de la rapidité qui caractérise une machine de production, d'où l'option d'usiner des matériaux légers, tel de la résine, et non des métaux, avec de plus un gain important en matière de sécurité.

Si a priori, cette distinction paraît clairement établie, divers propos d'enseignants et d'élèves semblent pourtant mettre en doute l'intérêt de ces machines, comme si leur place et leur sérieux n'étaient pas pleinement acquises. Comment l'activité déployée sur un système didactique est-elle réellement perçue? Dans quels contextes et par qui est-elle prise au sérieux, dans quels autres apparaît-elle peu "professionnelle", associée au monde de l'exercice scolaire? Le poids des traditions paraît ici important; le travail en atelier de mécanique est associé à l'image d'élèves qui travaillent "en blouse et avec lubrifiant", et cette image, dans certains cas, peut faire obstacle à l'idée qu'une formation pertinente puisse être dispensée sur des machines didactiques.

En matière d'outils didactique, l'ETSC dispose pourtant d'une riche expérience aussi bien interne à l'école qu'en d'autres lieux par le développement et la commercialisation de plusieurs machines didactiques qui ont nécessité l'établissement de nombreux contacts avec différents lieux de formation professionnelle en Suisse et à l'étranger. Mais ces expériences multiples ne semblent pas avoir été documentées et capitalisées sur le plan des conceptions et des pratiques pédagogiques chaque fois mises en oeuvre. La présence de dispositifs didactiques au sein de l'ETSC tend à relever d'un état de fait; ces dispositifs font partie d'un environnement d'apprentissage donné, d'un héritage auquel on tente de s'accommoder et sur lequel on n'a pas encore pensé à se pencher comme une ressource à exploiter en tant que telle.

*Des activités didactiques aux activités profesionnelles: des connaissances transférables?*

D'autre part, la question des apports et limites des machines didactiques dans une formation professionnelle nous semble importante parce qu'elle rencontre inévitablement une deuxième question qui lui est très étroitement liée, à savoir celle du transfert des connaissances que nous avons évoquée plus haut à propos des compétences visées. L'utilisation de machines conçues pour apprendre n'a en effet de sens que s'il y a transfert possible des savoirs et savoir-faire acquis aux situations professionnelles réelles. Les expériences de formation conduites avec succès par Vivet (1992) dans le domaine de la robotique didactique viennent confirmer, dans la reconversion professionnelle d'adultes, la pertinence d'activités strictement didactiques pour la formation aux nouvelles technologies de production.

## Des machines à la croisée d'intentions différentes

L'attention que nous avons portée aux nouvelles machines qui arrivent dans une Ecole Technique et à ce qu'en disent les principaux acteurs de la formation nous a révélé un certain nombre de tensions liées au positionnement complexe qu'occupent ces machines dans le champ de la formation professionnelle. Dans les propos qu'ils suscitent ces équipements font en effet presque systématiquement l'objet de mises en relations. Leur mode d'existence semble s'appuyer sur des comparaisons qui s'organisent principalement selon deux axes.

Sur un axe, les machines sont positionnées comme *didactiques* versus *industrielles* .
Comme nous venons de le voir, au sein même des ateliers de l'ETSC, les machines didactiques sont ainsi systématiquement comparées aux machines dites de production également présentes dans l'Ecole.

Le deuxième axe désigne les comparaisons établies entre les machines dont dispose l'Ecole et celles dont on imagine que les entreprises sont équipées. Notons que cette deuxième dimension de comparaison est quelque peu composite: elle fait intervenir la qualité, la précision, la robustesse, la vitesse ou la récence des machines-outils avec comme préoccupation dominante que l'école soit techniquement "à jour".

Les machines de l'école appartiennent donc à deux mondes: celui de la formation (ces équipements sont là pour apprendre), et celui du monde industriel (le monde des "vraies" machines) et s'y situent comme "vétustes" au matériel de "pointe".

Chacun (direction et enseignants, élèves) a sa représentation personnelle de ces machines. Il pourrait être bénéfiquie de créer des occasions d'expliciter ces perceptions et ces appréciations, de les confronter et de les vérifier. L'organisation de visites voire de stages en entreprise que l'ETSC cherche aujourd'hui à développer, contribuera certainement à fournir aux apprentis et aux techniciens de meilleurs points de repère pour percevoir tant la réalité de l'environnement industriel de leur région, que celle des équipements techniques dont dispose leur Ecole.

Penser le développement des équipements techniques d'un établissement de formation, en examinant leur pertinence à la fois didactique et industrielle, ainsi que les perceptions subjectives que les acteurs en ont, constitue aujourd'hui une tâche-clé pour une Ecole Technique soucieuse de la qualité et de l'efficacité de l'environnement d'apprentissage qu'elle crée en son sein.

## Références bibliographiques

ASM (1996). *Réforme des apprentissages ASM.* Association patronale suisse de l'industrie des machines. Winterthur.

Aussenac, & al (1987). Des erreurs significatives dans les pratiques des machines-outils à commande numérique et des dessins spontanés.In: P. Rabardel & A. Weill-Fassina (Eds) (1987).*Le dessin technique : apprentissage, utilisation, évolutions.* Paris: Hermès.

Barcet, A., & al. (1983). Dynamique du changement technique et transformation des savoir-faire de production. *La Documentation Française, 8*, 51-75.

Blanc, C., Michel, D., Villard, I., & Perret-Clermont, A. N. (1994). Interactions sociales et transmission des savoirs techniques. *Document de recherche du projet "Apprendre un métier technique aujourd'hui".* Séminaire de Psychologie, Université de Neuchâtel

Blatti, S., Mezghiche, H., Neuvecelle, D. (1992). *Formation et gestion des ressources humaines dans les entreprises en mutation technologique.* Rapport final.

Crevoisier, O. (1993). *Industrie et région : les milieux innovateurs de l'Arc jurassien.* Division économique et sociale. Université de Neuchâtel.

Dugon, A. (1993). *Le concept GPAO à l'Ecole Technique de Sainte-Croix* . Document interne, Ecole Technique de Sainte-Croix.

Ebel, K. H. (1989). L'usine automatisée a besoin de la main de l'homme. *Revue internationale du Travail, 128*(5).

Ferrand, J.-L., LeGoff, J.-P., Malglaive, G., & Orofiamma, R. (1987). *Quelle pédagogie pour les nouvelles technologies*? Paris: La Documentation Française.

Fragomikelakis, M. (1994). Culture technique et développement régional. Les savoir-faire dans l'Arc jurassien. *Cahiers de l'ISSP*(15). Université de Neuchâtel.

Golay Schilter, D. (1997). Apprendre la fabrication assistée par ordinateur. Sens, enjeux et rapport aux outils . *Document de recherche du projet "Apprendre un métier technique aujourd'hui".* Séminaire de Psychologie, Université de Neuchâtel

Greenfield, P. (1993). Representational Competence in shared symbol systems: electronic media from radio to video games. In: Renninger, R.R. Cocking et K.A. (Eds.), *The development and meaning of psychological distance.* (pp. 161-183). New York: Lawrence Erlbaum.

Greenfield, P. (1994). Effects of interactive entertainment technologies on development. *Journal of applied developmental psychology, 15* (1).

Hatchuel, A., & Molet, H. (1992). Les obscurs sentiers de l'efficacité. In D. Linhart, J. Perriault, & A. Fouquet (Eds.), *Le travail en puces* Paris: PUF.

Huberman, M. (1989). *La vie des enseignants. Evolution et bilan d'une profession.* Lausanne: Delachaux & Niestlé.

Lebahar, J.-C. (1987a). Graphisme technique et automatismes. Entre le naturel et l'artificiel, l'analyse du travail cognitif. In: P. Rabardel & A. Weill-Fassina (Eds) (1987).*Le dessin technique : apprentissage, utilisation, évolutions.* Paris: Hermès.

Lebahar, J.-C. (1987b). L'influence de l'apprentissage des machines-outils à commandes numériques sur la représentation de l'usinage et ses niveaux de formalisation. *Le Travail humain, 50*(3), 237-249.

LeBoterf (1994). *De la compétence. Essai sur un attracteur étrange.* Paris: Les Editions d'Organisation.

Martin, L. M., & Beach, K. (1992). *Technical and symbolic knowledge in CNC machining: a study of technical workers of different backgrounds.* California, Berkeley.: University of California, Berkeley.

Martin, L. M. W. (1995). Linking thought and setting in the study of work place learning. In L. Martin, M. Nelson, & E. Tobach (Eds.), *Sociocultural psychology. Theory and practice of doing and knowing* . Cambridge: Cambridge University Press.

Martin, L. M. W., & Scribner, S. (1991). Laboratory for Cognitive Studies of Work: A Case Study of the Intellectual Implications of a New Technology. *Teachers College Record, 92*(4).

Meirieu, P., & Develay, M. (Eds) (1996). *Le transfert de connaissances en formation initiale et en formation continue.* Lyon: Centre Régional de Documentation Pédagogique.

Perret, J-F. (1993) *Les manuels font-ils école?* Neuchâtel: Editions DELVAL - IRDP.

Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies. Approche cognitive des instruments comptemporains*. Paris: A. Colin.

Scardigli, V. (1992). *Le sens de la technique*. Paris: Presses Universitaires de France.

Schubauer Leoni, M. L. (1986). Le contrat didactique: un cadre interprétatif pour comprendre les savoirs manifestés par les élèves en mathématique. *European Journal of Psychology of Education, 1*(2), 139-153.

Schubauer-Leoni, M. L. (1994). Constructions cognitives dans l'interaction. Quatre élèves et un problème de distances: approche didactique de l'analyse des interactions. In U. D.-G. A. Trognon U. Krafft, & C. Riboni (Eds.), *La construction interactive du quotidien*. (pp. 77-102). Nancy: Presses Universitaires de Nancy.

Schürch, D. (1995a). *Le teorie soggetive del disapprendimento: un implicito necessario ?* Lugano, Institut Suisse de Péagogie pour la Formation Professionnelle.

Schürch, D. (1995b). Pourquoi bâtir l'objet du regard subjectif dans la formation des enseignants. Colloque international recherches et formation des enseignants, Toulouse, 23-25 février 1995.

Sroobants, M. (1993). *Sociologie du travail*. Paris: Editions Nathan.

Stroobants, M. (1993). *Savoir-faire et compétences au travail. Une sociologie de la fabrication des aptitudes*. Bruxelles: Editions de l'Université de Bruxelles.

Toupin, L. (1995). *De la formation au métier. Savoir transférer ses connaissances dans l'action*. Paris: ESF.

Vivet, M. (1992). Informatique et pédagogie dans l'entreprise. In D. Linhart, J. Perriault, & A. Fouquet (Eds.), *Le travail en puces* Paris: PUF.

Wilkinson, B. (1984). Technologie, compétence et formation. Une étude de cas sur les machines à commande numérique. *Sociologie du Travail, 4*, 447-456.

# ANNEXES

## Extrait de:

*Réforme des apprentissages ASM*. Winterthur: ASM, Service de la formation professionnelle, octobre 1996.

La multitude des moyens de production, outils, accessoires et méthodes, de même que leur évolution rapide exigent de nouvelles qualifications de la part des professionnels de demain. La recherche de personnel ne donne plus l'avantage aux spécialistes disposant d'un large savoir dans un domaine restreint, mais aux généralistes avec une large formati on de base leur permettant de comprendre des processus et de s'adapter rapidement à de nouveaux domaines. La principale mission de la formation des apprentis sera doréna vant d'encourager en plus des bases techniques, des qualifications comme l'indépendance, la flexibilité, le sens de la responsabilité, l'aptitude de travailler en groupe et la volonté d'apprendre. Au lieu d'une accumulation du savoir formel (étude encyclopé dique), les fonctions, l'interdépendance et les processus seront enseignés à l'aide d'exemples et si nécessaire, transférés et appliqués aux nouvelles situations. Cette évolution est caractérisée par les mots-clés suivants:

| **par le passé:** | | **à l'avenir:** |
|---|---|---|
| spécialistes | ☞ | généralistes |
| exécutant | ☞ | responsable du travail |
| montrer, copier | ☞ | élaborer, pratiquer |
| contrôle par des tiers | ☞ | auto-contrôle |
| apprentissage encyclopédique | ☞ | apprentissage par des exemples |
| programme de formation standard | ☞ | programme de formation individuel |
| formation technique spécialisée | ☞ | formation technique, formation de base et développement de la personnalité |
| orienté sur le travail | ☞ | orienté processus |
| profession pour toute la vie | ☞ | base pour une formation continue au long de toute la carrière |

# Structures de production et qualification des collaborateurs

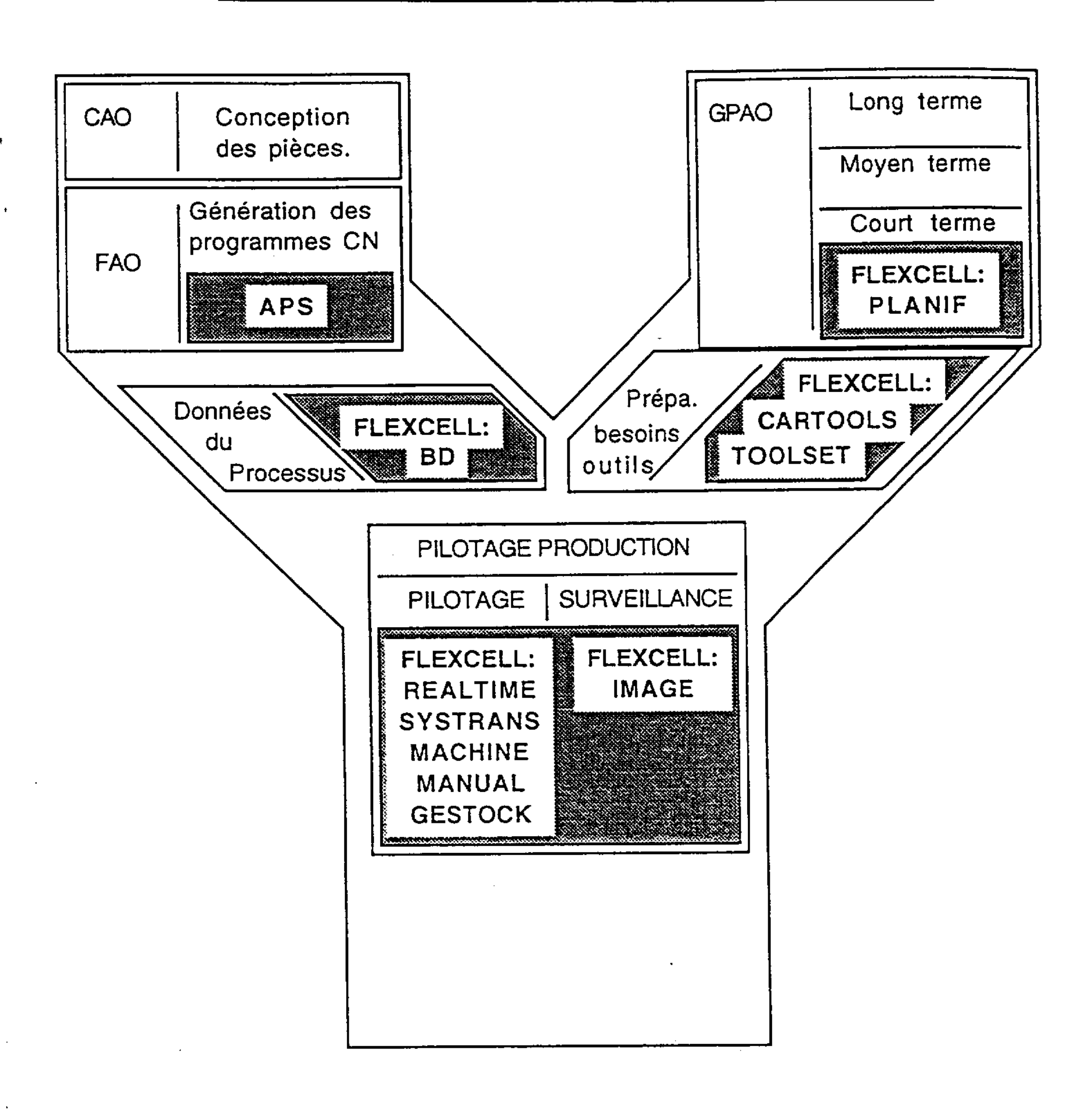
| Années 80 ⇨ | Année 90 |
|---|---|
| . High tech | . Production au plus juste |
| . Automatisation totale | . Automatisation adéquate |
| . Orientation vers la technique | . Organisation flexible orientée compétences |
| . Division du travail | . Travail en équipe |
| . Main d'oeuvre non qualifiée | . Collaborateurs motivés polyvalents |
| . Spécialistes | . Généralistes |

**Nouveau profil des collaborateurs**

| | |
|---|---|
| Qualification pluridisplinaire | Maîtrise de plusieurs domaines<br>Capacité de prise en charge de tâches nouvelles<br>Vision globale et motivation pour le domaine d'activités |
| Qualités humaines | Capacité de travailler en équipe<br>Capacité de maîtriser les conflits |
| Responsabilité | Identification avec le travail<br>Souci d'amélioration<br>Autonomie dans l'organisation du travail<br>Sens des responsabilités |

D'après : 7ème Colloque de Production Technique à Berlin

# INTEGRATION DE LA CELLULE FMS ETSC DANS LE CONTEXTE C I M






Bulletin mensuel de CIM Vaud No 33 - Septembre 1994

## L'ATELIER FLEXIBLE DE L'ECOLE TECHNIQUE DE SAINTE-CROIX

*Entretien avec M. Roland Bachmann, Directeur ETSC*

**Une visite de l'Ecole Technique:**

Avec la double vocation de former des collaborateurs qualifiés pour l'industrie (CFC, Maturité professionnelle, Technicien ET) et de participer à des actions de formation continue destinées au personnel des entreprises, l'Ecole Technique de Sainte Croix correspond bien à sa plaquette publicitaire: "petite, conviviale, mais dynamique et ambitieuse".

Afin de faire bénéficier les élèves d'un outil didactique de pointe, l'Ecole Technique s'est dotée, il y a quelques années, d'**un centre flexible de fabrication automatisée de faible dimension** (environ 20 mètres carrés).

Non contente d'exploiter cette cellule dans un but de pédagogie interne, une partie des ressources de l'Ecole passe en développement de ce modèle et à l'adaptation de ses logiciels pour diverses commandes, tant aux fins d'une utilisation pédagogique que d'une utilisation industrielle.

**Une visite de l'Atelier Flexible:**

FMS signifie Flexible Manufacturing System = système de fabrication flexible.
Le centre FMS est un ensemble de machines de production, contrôlées numériquement, interconnectées par un système de transport automatisé, et supervisées par un système informatique à haute capacité d'ordonnancement et d'adaptation.

Composé de 2 centres d'usinage, de postes de bridage/débridage, de palettes de dimensions industrielles, d'un stockeur et d'un contrôleur d'outils, et d'un système automatique de transport, il s'agit d'un instrument permettant aux élèves de s'initier concrètement, et sans trop de dégâts, à l'utilisation d'une cellule flexible **depuis la conception d'une pièce jusqu'à sa fabrication**.

A partir d'un poste de CAO (conception assistée par ordinateur), l'élève conçoit et dessine la pièce qu'il désire fabriquer puis, le pilote d'atelier prend le relais, calcule tous les paramètres de l'outillage, de la production et du transport.

Loin d'être un gadget, l'utilisation d'un tel outil est très motivante: après environ 1h1/4 passée à concevoir et dessiner une pièce, il ne reste plus qu'à attendre 1/2 heure sa fabrication.

Si les pièces sont en résine synthétique, le transport et l'usinage sont ralentis par choix délibéré. Les élèves doivent pouvoir regarder de près ce qui se passe, devant des machines non-capotées, et comprendre les divers procédés et processus mis en oeuvre.

**La configuration:**

La configuration utilisée à Sainte-Croix ne comporte pas de cellule de tournage. L'intégration d'une cellule d'assemblage ainsi que le stockage automatique des palettes font l'objet de développements importants. Le transport des pièces est assuré par un AGV (Automated guided vehicle = véhicule autoguidé), non par une chaîne de transfert, et par des robots servant à positionner les pièces. Le contrôle Qualité est semi-automatique.

**Le système de pilotage:**

Cerveau du centre FMS, le système de pilotage centralisé remplit les fonctions suivantes:
- stockage des données (programmes des commandes numériques, données outils,...),
- communication (envoi des programmes, correcteurs d'outils, dialogue avec les terminaux,...),
- ordonnancement (définition des ordres de fabrication, respect des délais),
- pilotage en temps réel (start machines, ordres de transports, etc. de façon à optimiser le fonctionnement de la cellule),
- visualisation graphique de l'installation,
- surveillance (alarme, erreurs,...).

**La flexibilité:**

La flexibilité du système est visible sur plusieurs aspects:
- en général, plusieurs séries de pièces cohabitent dans la cellule,
- sur une même machine, deux pièces qui se suivent ne sont pas forcément les mêmes et n'utilisent pas forcément le même programme d'usinage,
- si plusieurs machines sont identiques, ce sera le système de supervision (et non un opérateur humain) qui choisira la machine à utiliser, en fonction de son occupation, des pannes, etc.

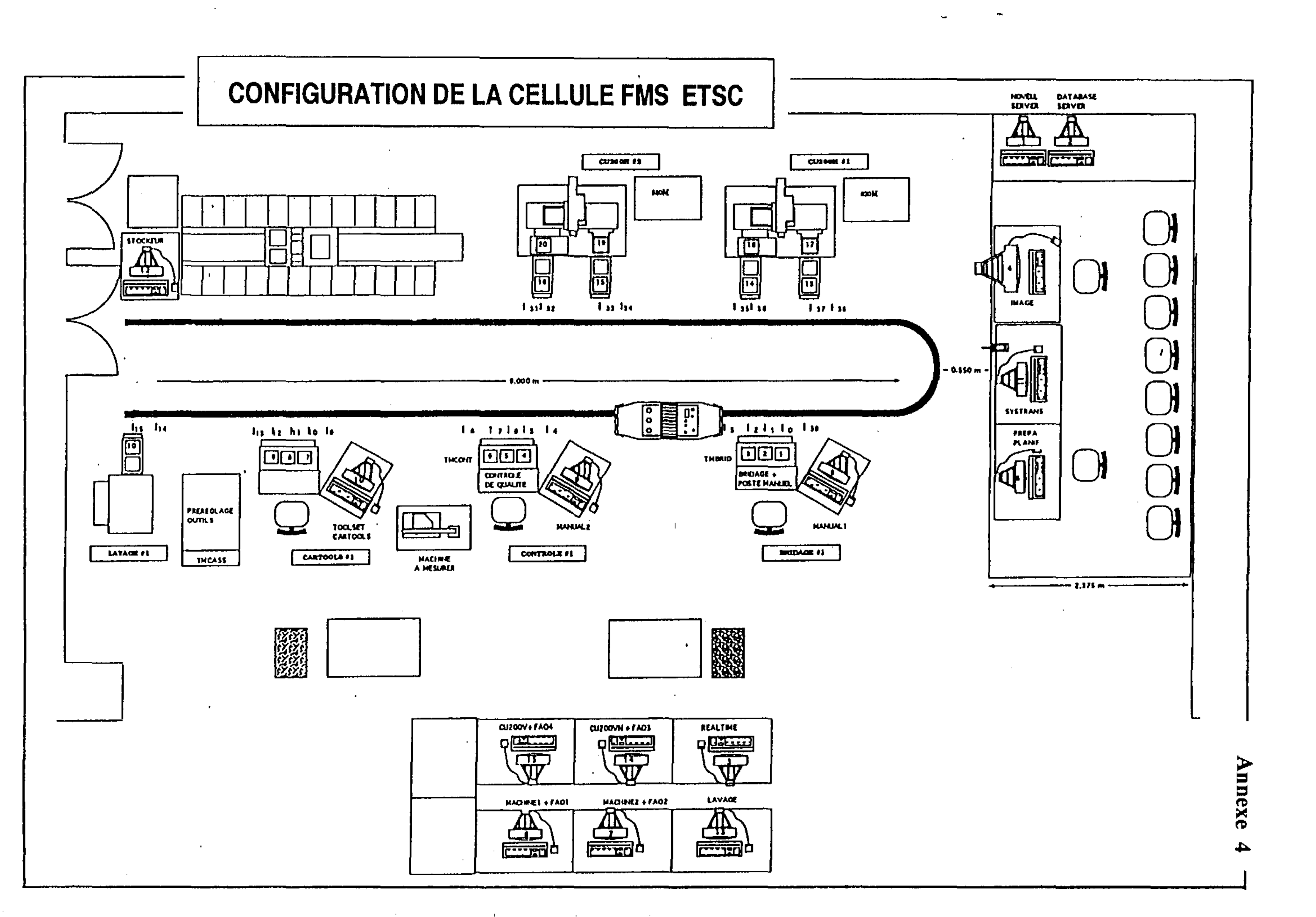
L'ETSC se préoccupe beaucoup de la formation. Un programme de recherche a été mis sur pied en collaboration avec l'Université de Neuchâtel pour déterminer quelles logiques utilisent les apprenants pour maîtriser les nouvelles technologies.

Pour l'instant, l'Ecole Technique de Sainte Croix a déjà rempli plusieurs mandats de développement ou de mise en service à l'étranger, pour des entreprises ou des écoles désirant s'équiper d'un atelier flexible didactique ou de production industrielle. Au Portugal (Collège Technologique), au Brésil (Institut national de Formation, à vocation industrielle), au Luxembourg, en Inde pour de la production. Le coût d'une telle installation varie entre : Fr. 500'000 et Fr. 900'000 selon le niveau d'intégration désiré.

***Renseignements:***

Roland Bachmann, Directeur ETSC,
4 Rue des Métiers, 1450 Sainte Croix
Tél.: 024/ 61.23.45; Fax.: 024/ 61.14.36

*Réd. CIM Vaud*


CONFIGURATION DE LA CELLULE FMS ETSC
NOVELL SERVER
DATABASE SERVER
STOCKEUR
IMAGE
SYSTRANS
PREPA PLANIF
9.000 m
0.550 m
2.375 m
THCONT
CONTROLE DE QUALITE
THBRID
BRIDAGE + POSTE MANUEL
PREREGLAGE OUTILS
THCASS
TOOLSET CARTOOLS
MANUAL2
MANUAL1
LAVAGE #1
CARTOOLS #1
MACHINE A MESURER
CONTROLE #1
BRIDAGE #1
CU200V + FAO4
CU200VN + FAO3
REALTIME
MACHINE1 + FAO1
MACHINE2 + FAO2
LAVAGE

Annexe 4




# ÉCOLE TECHNIQUE SAINTE-CROIX

1450 Sainte-Croix
Tél. 024/61 23 45
Fax 024/61 14 36

**Des formations d'avenir**

## Préparer aux techniques de demain.

Les apprentis mécaniciens de précision, électroniciens ainsi que les élèves techniciens ET de l'ETSC apprennent à utiliser les techniques de production les plus évoluées, celles qu'ils rencontreront dans l'industrie en débutant dans leur vie professionnelle.

Ils ont notamment la possibilité de s'exercer à la fabrication intégrée par ordinateur (CIM) sur des installations didactiques développées par l'ETSC avec la collaboration de l'industrie privée.

Le secrétariat de l'Ecole vous fournira tout renseignement utile sur les modalités pratiques des formations de mécanicien de précision, électronicien ou technicien ET en microtechnique, mécanique ou informatique industrielle.

*Photo: module de formation CIM comportant un centre d'usinage CNC avec transfert automatique des outils et des pièces par chariot optoguidé.*

Membre de la



**Liste des documents de recherche du projet:**
**"Apprendre un métier technique aujourd'hui"**

No 1 — Interactions sociales et transmission des savoirs techniques.
Travaux de séminaire. (Décembre 1994). - 66 p.
*Chantal Blanc, Daria Michel, Isabelle Villard & Anne-Nelly Perret-Clermont.*

No 2 — Repérage bibliographique concernant la Formation Professionnelle, à travers la revue Panorama et le Programme National de Recherche "Education et Vie Active". (Décembre 1994). - 58 p.
*Franco De Guglielmo, Annalisa Bazan & Jean-François Perret.*

No 3 — Le système suisse de formation professionnelle: repères généraux.
(Mars 1995). - 32 p. *Danièle Golay Schilter.*

No 4 — Regards sur l'organisation et les enjeux de l'enseignement à l'Ecole Technique de Sainte-Croix. (Mars 1995). - 79 p.
*Danièle Golay Schilter.*

No 5 — Les élèves de l'Ecole Technique de Sainte-Croix: données quantitatives.
A la recherche d'éléments de description et de comparaison signifiants.
(Août 1995). - 20 p. *Jean-François Perret.*

No 6 — Nouvelles technologies dans une Ecole Technique: logique d'équipement et logique de formation. (mai 1997). -53 p. *Jean-François Perret.*

No 7 — Aux prises avec l'informatique industrielle: collaboration et démarches de travail chez des élèves techniciens. (Février 1997). - 87 p.
*Danièle Golay Schilter, avec Anne-Nelly Perret-Clermont, Jean-François Perret, Franco De Guglielmo & Jean-Philippe Chavey.*

No 8 — Transmission de savoirs techniques: la relation maître-élève-savoir dans la perspective d'une psychologie socio-culturelle. (Mars 1996). - 49 p.
*Nathalie Muller.*

No 9 — Interactions entre maître et élèves en cours de travaux pratiques.
(Mars 1997). - 35 p.
*Jean-François Perret, Anne-Nelly Perret-Clermont & Danièle Golay Schilter.*

No 10 — Apprendre un métier technique aujourd'hui: représentations des apprenants.
Rapport scientifique. (Février 1997). - 33 p.
*Claude Kaiser, Anne-Nelly Perret-Clermont, Jean-François Perret & Danièle Golay Schilter.*

No 11 — Résoudre à deux un problème de fabrication assistée par ordinateur: analyse interlocutoire d'une séquence de travail. (Mars 1997). - 24 p.
*Pascale Marro Clément.*

No 12 — Interactions sociocognitives dans une tâche d'informatique industrielle: quel en est l'efficience? (Mars 1997). - 27 p.
*Danièle Golay Schilter, Jean-François Perret, Anne-Nelly Perret-Clermont & Franco De Gugliemo en collaboration avec Jean-Philippe Chavey .*

No12bis — Sociocognitive interactions in a computerised industrial task: are they productive for learning? - 27 p.
(Mars 1997 / version en anglais du document No 12).
*Danièle Golay Schilter, Jean-François Perret, Anne-Nelly Perret-Clermont & Franco De Gugliemo en collaboration avec Jean-Philippe Chavey .*

No 13 — Apprendre la fabrication assistée par ordinateur: sens, enjeux et rapport aux outils. (Mai 1997). *Danièle Golay Schilter.*

No 14 Aperçu des travaux du séminaire de recherche: "Interactions sociales et acquisition de savoirs techniques" (Novembre 1997).
*Jean-François Perret (ed.)*

No 15 Ressources bibliographiques. (Novembre 1997). *Jean-François Perret & al.*

N0 16 Choisir et prendre en charge sa formation? (à paraître)
*Claude Kaiser, Anne-Nelly Perret-Clermont, Jean-François Perret*